

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2009**

**Bc. Aleš Kadlec**

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra měřicí a řídicí techniky**

**Simulátor poruchových průběhů na bázi  
hardware Compact DAQ pro testování odezvy  
analyzátoru kvality elektrické energie na  
dynamické děje na napět'ových a proudových  
signálech**

**Fault signal generator based on CompactDAQ  
hardware intended for testing power quality  
analyzer responses for dynamic events on voltages  
and current signals**

**2009**

**Bc. Aleš Kadlec**

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat celé mojí rodině a přátelům za psychickou podporu, pochopení a lásku.

Také bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce, Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D., za odborné vedení a pomoc při zpracování mé diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

**V Ostravě 6.5.2009**

.....  
Aleš Kadlec

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a implementací generátoru poruchových signálů na bázi virtuální instrumentace za účelem testování analyzátoru kvality elektrické energie.

Tento generátor umožňuje generovat základní poruchové signály – přepětí, podpětí, výpadky signálů s volitelnou strmostí, časem rampy sestupu a náběhu obálky amplitudy a počátečním úhlem poruchy. Umožňuje zadat změnu frekvence rovněž dle definované rampy.

Generátor je testován na analyzátoru kvality elektrické energie a jeho výstupy jsou uvedeny na grafech a tabulkách.

## **Abstract**

This dissertation is concerning with proposal and implementation of generator of fault signals in order to testing analyzer quality of electric energy.

This generator makes it possible to generate basic fault signals – overvoltage, undervoltage, signal outages with optional steepness, time of ramp decline and building-up time of envelope amplitude and initial angle of failure. It makes it possible to order change of frequency as well according to defined ramp.

The generator is tested on analyzer of quality of electric energy and its issues are opened on graphs and tables.

## **Klíčová slova**

LabVIEW, Compact DAQ, NI 9172, NI 9263, analyzátor kvality elektrické energie, kvalita elektrické energie, generátor poruchových signálů

## **Key words**

LabVIEW, Compact DAQ, NI 9172, NI 9263, Power Quality Analyzer, Power Quality, fault signal generátor.

## Seznam použitých symbolů a zkratk

A/D	-	Analogově – digitální převodník
ADC	-	ang. Analog digital convertor -
D/A	-	Digitálně analogový převodník
DDE	-	<b>Dynamic Data Exchange</b> - komunikační protokol mezi aplikacemi v MS Windows.
FS	-	Full Scale – celý měřicí rozsah
GUI	-	Graphical User Interface – Grafické uživatelské rozhraní
I/O	-	<b>Input / Output</b> - Vstupně / výstupní
LabVIEW	-	<b>Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench</b> Grafický programovací jazyk
LSB	-	ang. Least significant bit - nejnižší platný bit
MSB	-	ang. Most significant bit – nejvýznamnější bit
TCP	-	<b>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</b> - česky primární transportní protokol - TCP/protokol síťové vrstvy - IP
Un	-	Jmenovité napětí

# Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Programovací prostředí LabVIEW .....	2
2.1.	Hlavní programové části LabVIEW.....	3
2.1.1.	Čelní panel.....	4
2.1.2.	Blokové schéma.....	5
3.	Číslíkový analyzátor signálu.....	6
3.1.	Režimy testování analyzátoru.....	6
3.1.1.	Softwarový generátor .....	6
3.1.2.	Softwarový generátor s filtrem .....	7
4.	Použitý hardware .....	8
4.1.	Compact DAQ – NI cDAQ 9172.....	8
4.2.	Analogový výstupní modul NI 9263.....	9
5.	Poruchy v síti.....	10
5.1.	Pokles napětí.....	10
5.2.	Rychlá změna napětí .....	12
5.3.	Krátkodobé a dlouhodobé přerušení .....	12
6.	Filtry.....	13
6.1.	Butterworthův filtr .....	14
6.2.	Besselovy filtry .....	15
6.3.	Čebyševovy filtry.....	16
6.4.	Eliptické filtry .....	17
6.5.	Srovnání základních typů 8. řádu.....	18
7.	Digitálně – analogové převodníky D/A.....	19
8.	Praktická část.....	20
8.1.	Problémy vzniklé při realizaci programu .....	20
8.1.1.	Zajištění stálého generování signálů po 200 ms .....	20
8.1.2.	Zajištění dostatečné přesnosti generované frekvence .....	21
8.1.3.	Zajištění přesné návaznosti fáze .....	22
8.2.	Popis čelního panelu generátoru .....	23
8.2.1.	Zadávatel vstupních hodnot.....	23
8.2.2.	Výstupní grafy .....	26
8.2.3.	Ovládací tlačítka, délka smyčky, velikost fronty .....	27
8.3.	Popis programového kódu generátoru.....	28
8.3.1.	Aplikace pro generování signálu (Obálka.vi) .....	28
8.3.2.	Výpočet koeficientu pro generování obálky amplitudy (Koeficient.vi) .....	31
8.3.3.	Program pro generování sinusového signálu o proměnlivé frekvenci (Gen_faze.vi) .....	33
8.3.4.	Program na pomocné výpočty (Pomocny_vypocet.vi) .....	34
8.3.5.	Výpočet koeficientu frekvence (Koeficient_frekvence.vi).....	35
8.3.6.	Dogenerování celistvého násobku 200 ms (Dogeneruj_zbytek.vi).....	36
8.3.7.	Měření frekvence (Merení_frekvence.vi).....	37
8.3.8.	Násobení signálu (Nasobeni_signalu.vi) .....	38
8.3.9.	Nastavení měřicí karty (Set_mereni.vi).....	38
9.	Praktická měření .....	39

9.1.	Vyhodnocování délky poklesu napětí .....	39
9.2.	Simulace chování eliptického filtru .....	43
9.3.	Vyhodnocení poklesu napětí s eliptickým filtrem .....	45
9.4.	Rychlá napěťová změna napětí.....	46
9.5.	Změna frekvence.....	48
10.	Závěr .....	50
	Seznam použité literatury .....	51

# 1. Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou generování typických poruch v napájecí síti za účelem testování analyzátoru kvality elektrické energie.

Běžné generátory nedokážou generovat krátké poruchové signály, pouze signály o zadané amplitudě a frekvenci.

Práce se zabývá návrhem a vytvořením generátoru poruchových signálů na bázi virtuální instrumentace pro podpětí, přepětí a výpadky signálů v grafickém programovacím prostředí LabVIEW 8.5. Generátor umožňuje generovat poruchu s volitelnou strmostí a časem rampy sestupu a náběhu obálky amplitudy, dále umožňuje změnu frekvence rovněž dle definované rampy.

První kapitola popisuje programovací prostředí LabVIEW, seznamuje s jeho principy a jeho výhodami proti běžnému programovacímu jazyku.

V druhé kapitole je popsán analyzátor kvality elektřiny a možnosti ověření jeho funkčnosti generátorem poruchových dějů na bázi virtuální instrumentace.

V další kapitole je popsán hardware cDAQ 9172 od společnosti National Instrument a analogový výstupní modul NI 9263.

Ve čtvrté kapitole jsou popsány základní typy poruch napětí v napájecích sítích, jaké mají vlastnosti a jak tyto poruchy vznikají.

Další kapitola je věnována popisu antialiasing filtrů, které lze v analyzátoru kvality využít. Jsou zde uvedeny jejich hlavní rysy a srovnání amplitudových a fázových frekvenčních charakteristik.

Šestá kapitola popisuje digitálně – analogový převodník.

Další kapitola popisuje problémy, které nastaly při návrhu a implementaci programu. Následně je popsán programový kód generátoru poruchových signálů včetně ovládacího panelu pro zadávání parametrů.

Poslední kapitola se zaměřuje na testování analyzátoru kvality napětí na bázi virtuální instrumentace. V této kapitole jsou porovnávány simulované hodnoty s reálnými, výsledky jsou uvedeny v tabulkách a na grafech. Každé měření je poté vyhodnoceno.



## 2. Programovací prostředí LabVIEW

LabVIEW (zkratka z anglického spojení **L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench) je platforma a vývojové prostředí pro vizuální programovací jazyk od společnosti National Instrument. LabVIEW používá programovací jazyk G k vytváření programu ve formě blokových diagramů. Stejně jako do jakéhokoliv jiného programovacího jazyku se dá i do LabVIEW vložit spoustu užitečných knihoven, které umožňují ovládat jakékoliv zařízení na různém stupni složitosti. LabVIEW podporuje GPIB a sériové rozhraní, což umožňuje naměřené hodnoty analyzovat, uchovávat nebo prezentovat. Obsahuje rovněž i klasické ladící prostředky programovacích nástrojů, kterými lze nastavit místa přerušení programu, animovat chod sledu příkazů, aby bylo zřejmé, jak data procházejí programem a krokovat program pro snadnější ladění a vývoj. LabVIEW dále obsahuje rozšiřitelnou knihovnu analýz pro zpracování signálu, statistiku a komplexní analýzu, síťovou a meziprocesorovou komunikaci s ActiveX, DDE a protokolem TCP/IP.

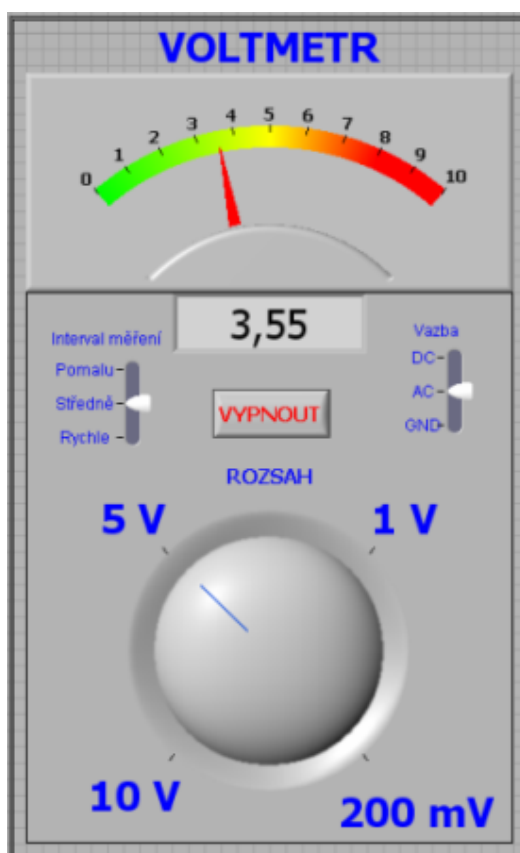
Grafické vývojové prostředí LabVIEW bylo původně uvolněno pro Apple Macintosh v roce 1986. LabVIEW dnes existuje pro různé platformy včetně Microsoft Windows, různé verze systému UNIX, Linux a Mac OS. LabVIEW ve verzi 8.6 bylo vydáno v srpnu 2008.

Programy v LabVIEW se nazývají virtuální přístroje nebo VI, protože svým vzhledem a činnostmi jsou obdobou skutečných přístrojů, jako jsou např. osciloskopy nebo funkce v jiných programovacích jazycích.

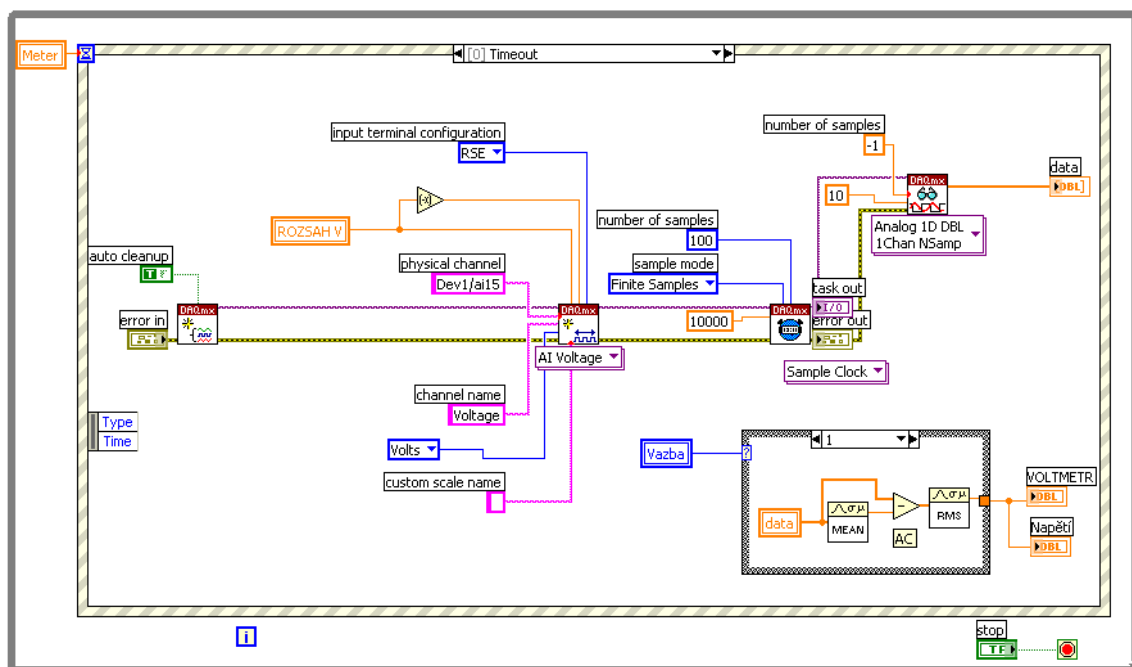
## 2.1. Hlavní programové části LabVIEW

Virtuální přístroj je základní jednotka aplikace vytvořená ve vývojovém prostředí LabVIEW a obsahuje tyto hlavní části:

- interaktivní grafické rozhraní (Graphical User Interface – GUI) ke koncovému uživateli – tzv. čelní panel (Front Panel) – viz. Obr. 1. Obsahuje prvky pro ovládání a indikaci (knoflíky, tlačítka, LED indikátory, grafy, ...). Čelní panel ovládá uživatel myší nebo z klávesnice.
- činnost virtuálního přístroje je dána jeho blokovým diagramem (Block Diagram), který je tvořen ikonami reprezentujícími v koncových blocích ovládací a indikační prvky čelního panelu. Ve svých uzlových blocích jsou to bloky zpracovávající procházející data. Tento blokový diagram je zdrojovou podobou každé aplikace. Příklad takového blokového diagramu je uveden na Obr. 2
- Virtuální přístroj má hierarchickou a modulární strukturu. Lze jej používat jako celý program nebo jeho jednotlivé podprogramy, které se nazývají podřízenými virtuálními přístroji (SubVI). Součástí každého virtuálního přístroje je jeho ikona, kterou je reprezentován v blokovém schématu a konektor s přípojnými místy pro vstupní a výstupní signály.



Obr. 1: Čelní panel Virtuálního přístroje pro měření napětí (Front panel)



Obr. 2: Příklad blokového diagramu virtuálního přístroje (Block Diagram)

LabVIEW splňuje podmínky modulárního programování. Svou aplikaci dělí uživatel na jednotlivé úlohy, pro které vytváří dílčí virtuální přístroje (tzv. SubVI) a z nich potom buduje celou aplikaci jejich spojováním do výsledného virtuálního přístroje. Na závěr lze celou aplikaci přeložit do EXE tvaru a provozovat nezávisle na vývojovém prostředí.

Díky modulárnímu dělení a programování lze snadno program ladit a testovat každé dílčí SubVI samostatně. Můžeme využít tzv. sond a sledovat tok dat a procházet program krok za krokem. Lze pak snadno nalézt místo možné chyby.

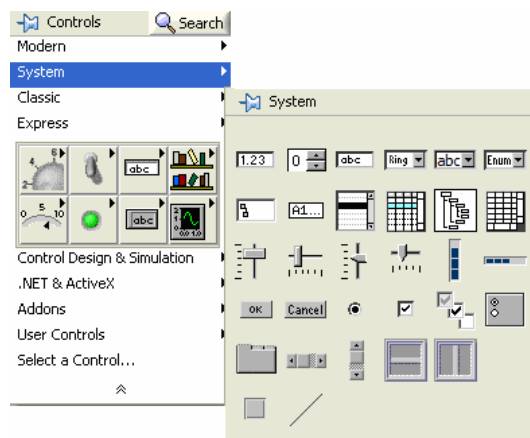
### 2.1.1. Čelní panel

Grafické rozhraní k uživateli plní tutéž úlohu jako čelní panel fyzického přístroje. Pro vytváření čelního panelu je k dispozici samostatné okno. Příklad je uveden na Obr. 1.

Tento čelní panel pak může obsahovat dva základní typy prvků:

- ovládací (controls) – simulují vstupní zařízení (v blokovém schématu jsou reprezentovány vstupními bloky) a slouží pro ovládání virtuálního přístroje – zprostředkují tedy vstup informace od uživatele do aplikace, v blokovém diagramu jsou to bloky, z nichž signál vystupuje do algoritmu.
- indikační (indicators) – simulují výstupní zařízení (v blokovém schématu jsou reprezentovány výstupními bloky) a slouží k indikaci stavu virtuálního přístroje a výstupu výsledků – zprostředkují tedy předávání informací směrem od aplikace k uživateli, v blokovém schématu jsou to bloky, v nichž signálové cesty končí.

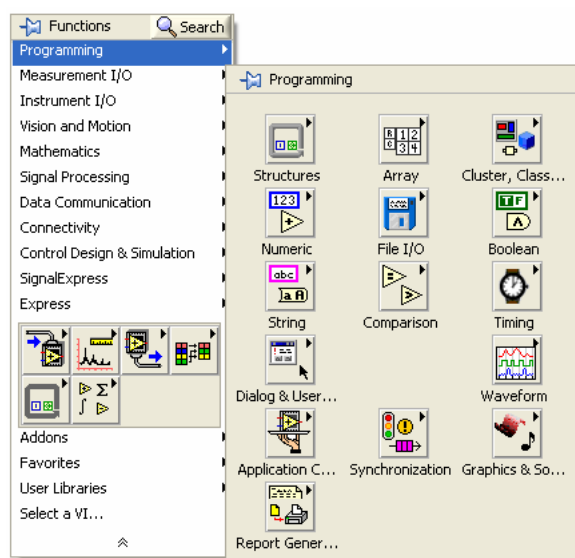
Oba tyto typy prvků se na čelní panel umísťují z knihovny, která je součástí systému LabVIEW. Z knihovny lze tyto prvky vybírat pomocí paletové nabídky, kterou lze zpřístupnit pomocí roletové nabídky, nebo kliknutím na pravé tlačítko myši kdekoli v okně čelního panelu.



Obr. 3: Paletové menu prvků čelního panelu

## 2.1.2. Blokové schéma

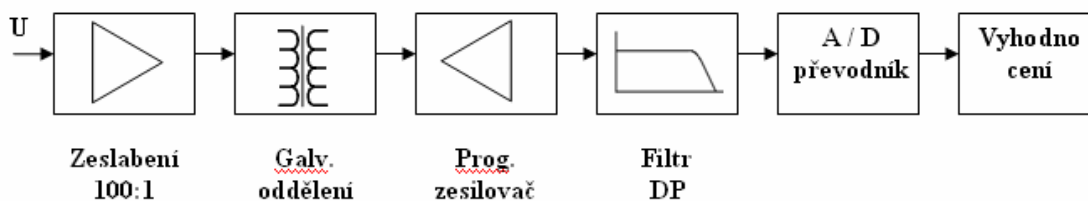
Blokové schéma je grafickým vyjádřením zdrojového kódu virtuálního přístroje. Konstruuje se propojováním jednotlivých bloků signálovými cestami. Bloky jsou tvořeny jednak koncovými bloky (zdrojovými a cílovými), které jsou na panel blokového schématu umístěny automaticky při tvorbě čelního panelu a jednak uzlovými bloky (nodes), které reprezentují bloky zpracování signálu, které lze vybírat z paletového menu Functions reprezentujícího vlastně knihovnu funkcí v okně blokového diagramu. Paletové menu s funkcemi lze vyvolat obdobným způsobem jako paletové menu prvků čelního panelu – buď přes menu nebo kliknutím na pravé tlačítko myši v okně blokového diagramu.



Obr. 4: Paletové menu funkcí a struktur blokového diagramu

[1], [5]

### 3. Číslicový analyzátor signálu



Obr. 5: Schéma digitálního analyzátoru

Základní blokové schéma číslicové analyzátoru (Obr. 5) se skládá ze vstupního zeslabení, které umožňuje připojit generátory s napětím do 400 V. Bez toho je analyzátor schopný pracovat s napětím 10 V p-p.

Galvanické oddělení se používá u všech měřících přístrojů, měřících desek počítačů nebo zařízeních komunikujících po sériových linkách. Někdy je to přímo nutné např. když je měřená část na jiném potenciálu než měřící přístroj. Další důvod je proto, aby nedošlo k vytvoření zemních smyček, které by mohly ovlivnit výsledky měření nebo bránit komunikaci, například po lince RS485.

Programovatelný zesilovač a filtr dolní propust mají největší vliv na zkreslení měřeného signálu.

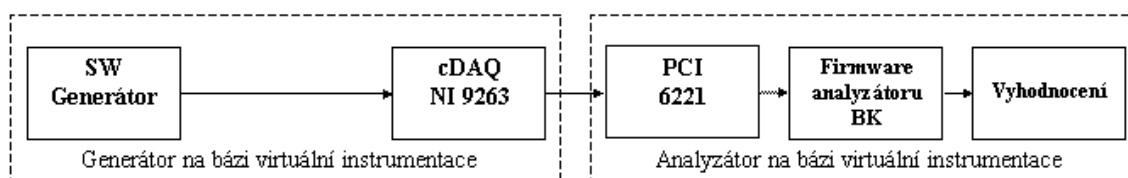
A/D převodník převede naměřené napětí na digitální signál, který dokáže zpracovat procesor a signál vyhodnotit. Tento převodník bývá zpravidla 16 – 24 bitový.

#### 3.1. Režimy testování analyzátoru

V této části budou popsány 2 typy zapojení generátoru a analyzátoru kvality elektrické energie na softwarové platformě LabVIEW a pomocí výstupního analogového modulu NI 9263.

##### 3.1.1. Softwarový generátor

Jako první způsob zapojení je hardwarové řešení, kdy se na počítači přes programovací prostředí LabVIEW generuje sinusový signál, který je zkreslen poruchovým signálem jako např. přepětí, podpětí nebo přerušení signálu. Tento signál je přes rozhraní USB poslán na Compact DAQ, ve kterém je modul NI 9263 pro analogový výstup. Ten je připojen na reálný analyzátor, který provádí veškeré vyhodnocovací algoritmy poruch.

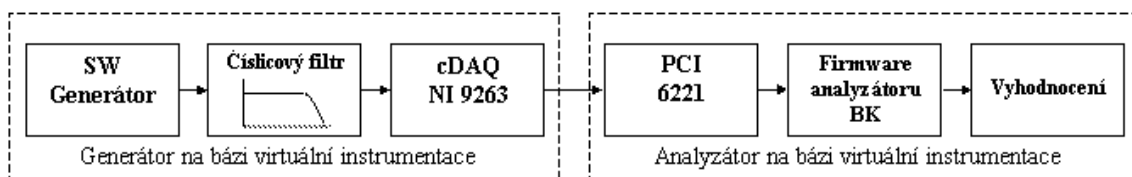


Obr. 6: Blokové schéma zapojení generátoru a analyzátoru BK

### 3.1.2. Softwarový generátor s filtrem

Druhé řešení je opět se softwarovým generátorem, který má na svém výstupu navíc vložen filtrovací blok typu dolní propust, na kterém je možné zvolit jeden ze čtyř základních typů filtrů. Je možné navolit různé kombinace řádu, frekvence řezu apod. Výstupní filtrovaný signál je opět přes výstupní modul NI 9263 přiveden na reálný analyzátor kvality elektřiny, na kterém se provede vyhodnocení naměřeného signálu.

Číslicový filtr je algoritmus, provádějící lineární kombinaci vzorků vstupního a výstupního signálu tak, aby došlo ke zvýraznění, nebo naopak k potlačení vybraných složek signálu. Filtr byl testován při výpadku signálu při různých počátečních úhlech.



Obr. 7: Blokové schéma zapojení generátoru s filtrem a analyzátoru BK

## 4. Použitý hardware

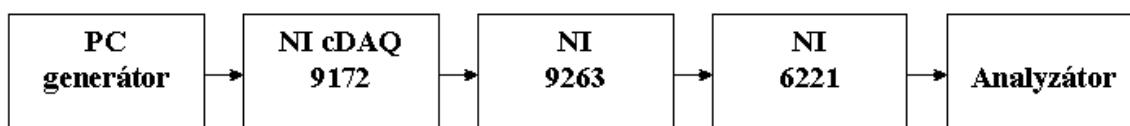
### 4.1. Compact DAQ – NI cDAQ 9172

NI Compact DAQ (Obr. 8) je jednoduché zařízení, které s pomocí I/O modulů zajišťuje rychlé a přesné měření vstupních a výstupních signálů. Obsahuje 8 slotů pro měřicí moduly. Připojuje se k počítači přes USB port, což umožňuje snadné použití i pro přenosné počítače a kombinuje výkon s flexibilitou modulárního přístroje. Pro zařízení existuje více než 40 měřících modulů. Může měřit až 256 analogových vstupů, obsluhovat 32 analogových výstupů nebo 64 digitálních I/O kanálů. Maximální vzorkování může být až 400 kS/s na jeden I/O modul.



*Obr. 8: Šasí NI 9172 pro zásuvné moduly CompactDAQ*

Na Obr. 9 je uvedeno blokové schéma zapojení hardwaru Compact DAQ s výstupním modulem NI 9263. Analogový signál je přiveden na měřicí kartu PCI NI 6221, která je v měřícím počítači, sloužící jako číslicový analyzátor na bázi virtuální instrumentace.



*Obr. 9: Blokové schéma zapojení Compact DAQ a modulu NI 9263*

## 4.2. Analogový výstupní modul NI 9263

Pro generátor poruchového signálu byl využit jeden modul NI 9263, který poskytuje až 4 analogové výstupy. Každý z těchto výstupů má přepětíovou a zkratovou ochranu. Modul dokáže odolávat trvalému přepětí  $\pm 30$  V. Krátkodobá izolační odolnost je max. 2300 Vrms do 5 s a trvalá do 250 Vrms, Modul pro svou funkci vyžaduje připojení k počítači přes USB 2.0.

### Parametry v přehledu:

- podporované šasi Compact DAQ, Compact RIO
- analogový výstupní modul
- 4 analogové kanály
- rychlost 100 kS/s na kanál
- rozlišení 16 – bitů
- napěťový rozsah  $\pm 10$  V
- přepětíová ochrana  $\pm 30$  V



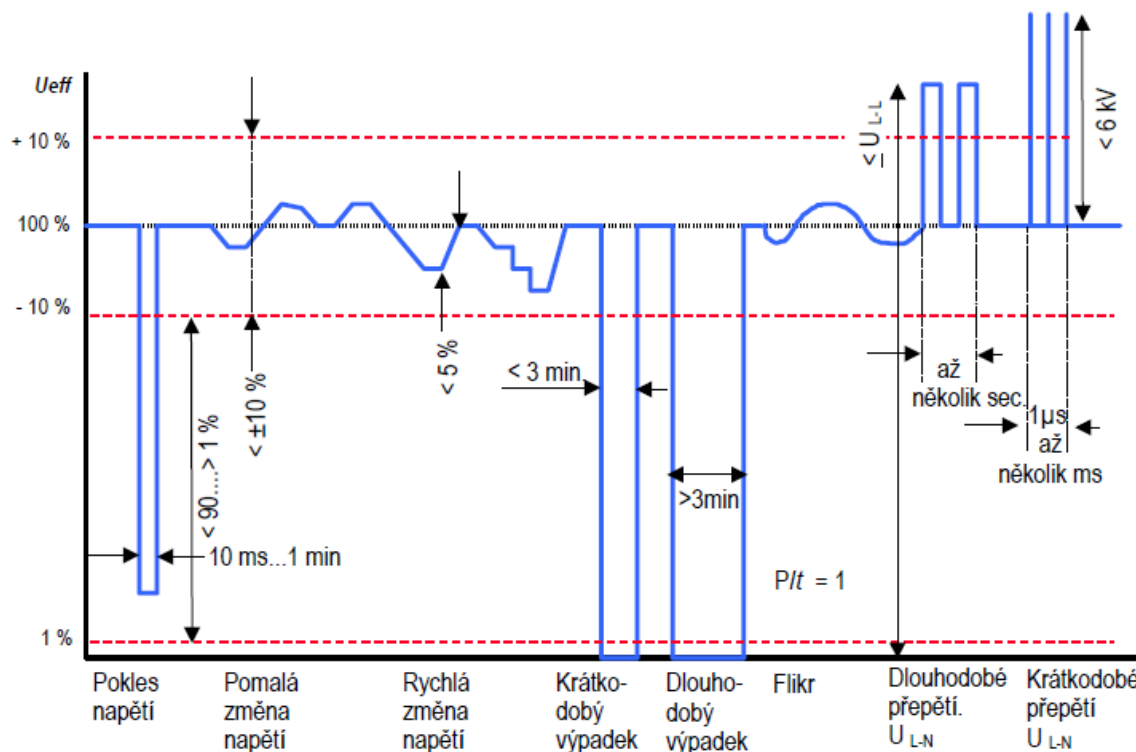
*Obr. 10: Zásuvný modul NI 9263 pro analogový výstup*

[6, 12, 15, 17]



## 5. Poruchy v síti

Na Obr. 11 jsou uvedeny základní typy poruch napětí elektrické energie, popisující kvalitu elektřiny dodávané z veřejné distribuční sítě, která vychází z normy ČSN EN 61000-4-30 metody měření kvality elektrické energie.



Obr. 11: Přehled základních poruch v sítích

[13]

### 5.1. Pokles napětí

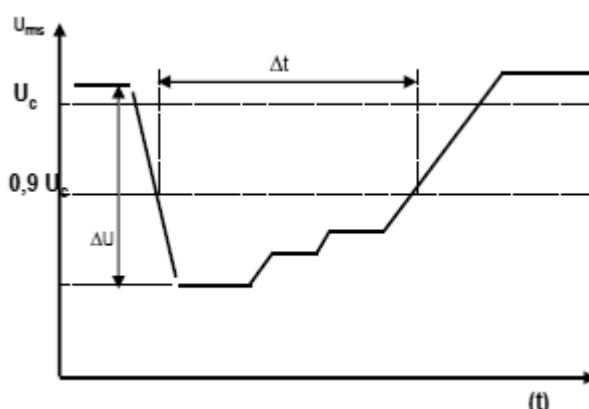
Krátkodobý pokles napájecího napětí (Obr. 12) je takový, po kterém následuje opětovné obnovení napětí během krátkého časového úseku. Toto rozmezí doby trvání krátkodobého poklesu napětí je mezi 10 ms a 1 minutou. Hloubka krátkodobého poklesu napětí je definována jako rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou v průběhu krátkodobého poklesu a dohodnutým napětím. Změna napětí, která nesnižuje napájecí napětí o více než 10% dohodnutého napětí, se považuje za odchylku napětí. Pokud je tato změna větší než 10% jedná se už o pokles napětí.

- V jednofázových systémech krátkodobý pokles napětí začíná, když  $U_{rms} \frac{1}{2}$  klesne pod prahovou hodnotu krátkodobého poklesu napětí a končí, když napětí  $U_{rms} \frac{1}{2}$  se rovná nebo je větší než prahová hodnota krátkodobého poklesu napětí plus hystereze.
- Ve vícefázových systémech krátkodobý pokles napětí začíná, když napětí  $U_{rms} \frac{1}{2}$  jednoho nebo více kanálů klesne pod prahovou hodnotu krátkodobého poklesu napětí a

končí, když napětí  $U_{rms} \frac{1}{2}$  na všech kanálech se rovná nebo je větší než prahová hodnota plus hystereze.

Poklesy napětí a krátká přerušení napětí bývají nejčastěji způsobeny různými spínacími operacemi, při nichž jsou zapínány velké odběry nebo zkratovými poruchami a následnou funkcí ochran. Tyto poruchy mohou pocházet z odběratelských sítí, z veřejných rozvodných sítí, nebo mohou být způsobeny atmosférickými vlivy.

Další příčina může být způsobena změnou jalového a činného výkonu odebíraného zátěžemi připojenými k sítí a tak způsobujícími změny úbytku napětí na impedanci sítě. V některých případech mohou být poklesy napětí způsobeny změnami zkratového výkonu sítě, způsobenými změnami ve skladbě generátorů nebo změnami v konfiguraci sítě.



Obr. 12: Krátkodobý pokles napájecího napětí

#### **Příklady zátěží způsobující velké změny napětí**

- provoz obloukových pecí
- provozy svářeček
- rozběhy motorů
- spínání kondenzátorů

#### **Vliv poklesů napětí a krátkých přerušení napětí**

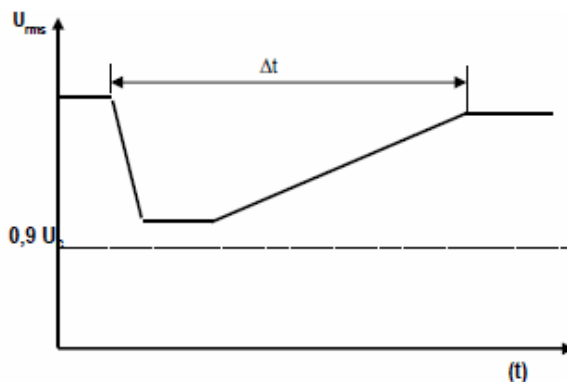
- vypínání stykačů
- zhášení výbojek
- narušení funkce regulačních přístrojů
- změny rychlosti nebo zastavování motorů
- výpočetní chyby počítačů a ztráta dat v paměti
- chybná funkce měřících přístrojů vybavených elektronikou

## 5.2. Rychlá změna napětí

Rychlá změna napětí je rychlý přechod efektivní hodnoty napětí mezi dvěma ustálenými stavy. Pro měření rychlých změn napětí se musí definovat prahové hodnoty pro každou z následujících veličin: minimální rychlost změny, minimální dobu trvání ustáleného stavu, minimální rozdíl napětí mezi ustálenými stavy a stálost ustáleného stavu.

Rychlá změna napětí vychází z normy ČSN EN 61000-4-30:

- požadavek na vyhodnocování se vyskytuje v kapitole 5.11
- definice je definována v kap. A.4
- prahové hodnoty:  
minimální rychlost změny, minimální doba trvání ustáleného stavu, minimální rozdíl napětí mezi dvěma ustálenými stavy, stálost ustáleného stavu
- charakteristický parametr rychlé změny napětí je rozdíl mezi hodnotou ustáleného stavu dosaženého po změně a počáteční hodnotou ustáleného stavu.



Obr. 13: Rychlá změna napětí

## 5.3. Krátkodobé a dlouhodobé přerušení

O krátkém výpadku se hovoří tehdy, jestliže v konkrétním bodu sítě klesne náhle nn napětí pod prahovou hodnotu přerušení, po které opět následuje obnovení. Výpadek napětí může trvat od poloviny periody sítě (10 ms) do několik minut. Přičemž do 3 minut se jedná o krátkodobý výpadek, a nad tuto dobu o dlouhodobý výpadek v síti. Tomuto výpadku napětí často předchází krátkodobý pokles napětí. Pokles napětí od výpadku se liší dosaženou hloubkou poklesu napětí, přičemž pokles větší jak 95%  $U_n$  se již považuje za výpadek.

Vše je uvedeno na Obr. 11.

[7, 10, 11, 16]

## 6. Filtry

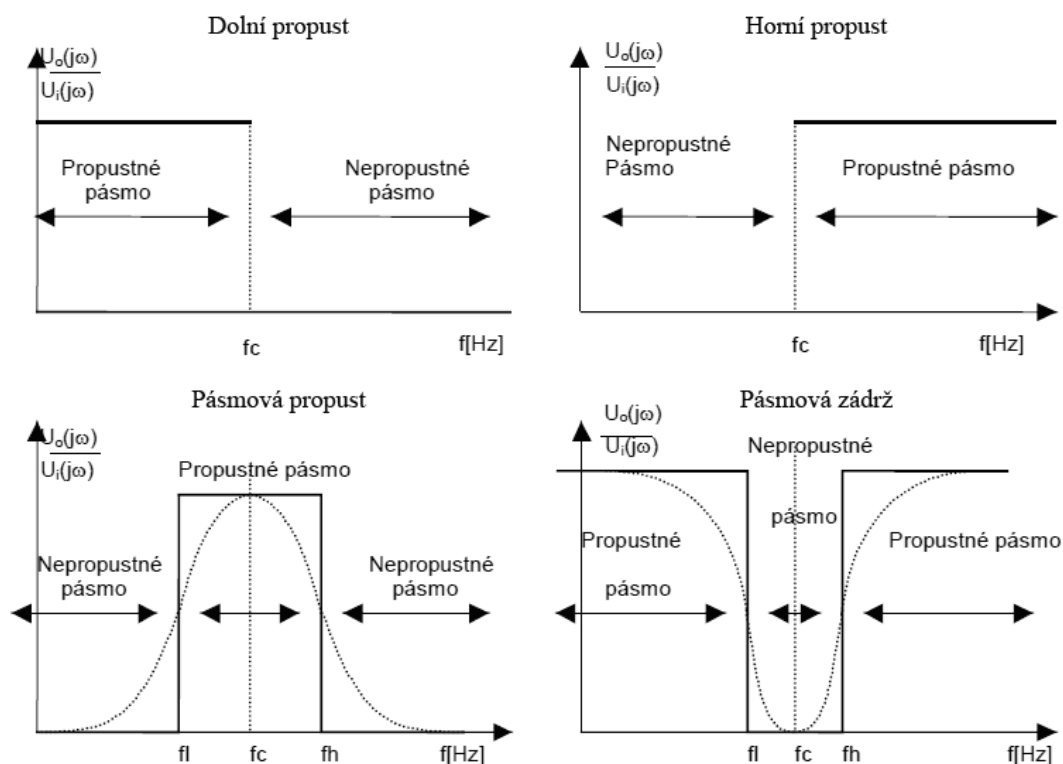
Před odesláním výsledného poruchového signálu je signál přiveden na dolnoproustný antialiasing filtr volitelného typu a řádu. Na analyzátoru kvality elektřiny se poté zjišťuje vliv nastavení parametrů filtru na velikost měřené amplitudy a délky poruchy. Výsledky těchto měření jsou uvedeny v kapitole 9. V této kapitole jsou popsány základní použité filtry, jejich vlastnosti a amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky.

Filtr je obecně selektivní obvod, který propouští určité frekvenční pásmo, zatímco ostatní frekvenční pásma jsou potlačována. Filtry je možno realizovat sítí pasivních součástek, tj. rezistorů, kondenzátorů a indukčností. Pasivní filtry pro nízké kritické úhlové kmitočty  $\omega$  vyžadují poměrně velké hodnoty  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , parazitní rezistance u  $L$  a  $C$  zhoršují kvalitu filtrů. V měřících přístrojích se používají jen málo, např. jako levné filtry zakončující signální vedení. V ostatních případech dáváme přednost aktivním filtrům, které navíc obsahují jeden nebo několik operačních zesilovačů. Jednou z výhod aktivních filtrů je možnost vyloučení indukčnosti při návrhu a realizaci přenosové funkce. Indukčnost je totiž vždy charakterizována velkými rozměry, relativně velkou cenou vzhledem ke složitosti výroby, ale zejména při použití feromagnetického materiálu se vždy jedná o nelineární prvek, který může negativně ovlivňovat přesnost aproximace přenosové funkce celého filtru.

Podle účelu, ke kterému má filtr sloužit, rozlišujeme celkem čtyři základní typy filtrů:

1. Filtr typu dolní propust (low-pass)
2. Filtr typu horní propust (high-pass)
3. Filtr typu pásmová propust (band-pass)
4. Filtr typu pásmová zádrž (notch, latch, band-stop)

Základní vlastnosti těchto filtrů jsou znázorněny na Obr. 14 (v lineárních frekvenčních charakteristikách, v technické praxi obvykle nepoužívaných).

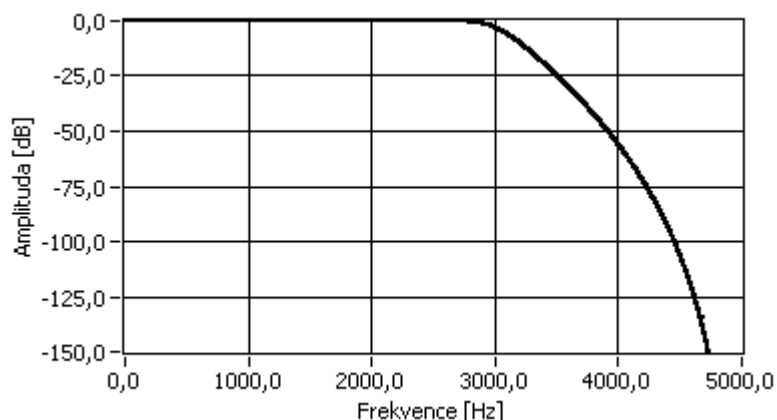


Obr. 14: Frekvenční vlastnosti čtyř základních kategorií filtrů

Hranice mezi propustným pásmem a nepropustným pásmem nastává při určité frekvenci  $f_c$ , která se nazývá frekvence zlomu nebo také kritická frekvence. Při této frekvenci dosahuje amplitudová část frekvenční charakteristiky v logaritmických souřadnicích (aproximovaná přímkami), své nejvyšší chyby.

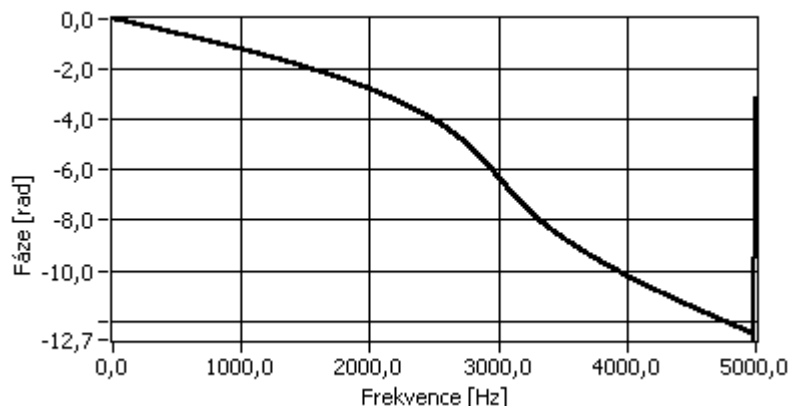
## 6.1. Butterworthův filtr

Amplitudová charakteristika Butterworthových filtrů má velmi plochý průběh v propustném pásmu, který začíná klesat teprve v blízkosti frekvence zlomu. Rozdíl mezi ideální a aproximovanou amplitudovou frekvenční charakteristikou je na frekvenci zlomu ( $f = f_c$ ) 3 dB a nezáleží na řádu filtru. Normovaným Butterworthovým polynomem  $n$ -tého řádu rozumíme polynom, jehož komplexně sdružené kořeny leží v levé polorovině, přitom pro liché  $n$  je jeden kořen vždy reálný a roven -1, dalších  $n-1$  kořenů jsou komplexně sdružené kořeny se zápornou reálnou částí. Pro sudá  $n$  má polynom  $n/2$  dvojic komplexně sdružených kořenů se zápornou reálnou částí.



Obr. 15: Amplitudová frekvenční charakteristika Butterworthova filtru

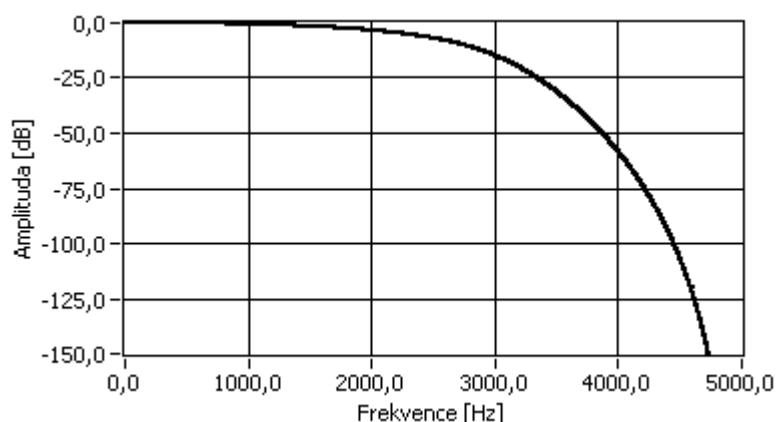
Na Obr. 15 je uvedena amplitudová frekvenční charakteristika Butterworthova filtru 8. řádu a frekvenci zlomu 3 kHz.. Na Obr. 16 je pak fázová frekvenční charakteristika Butterworthova filtru 8. řádu. Fázová frekvenční charakteristika vykazuje v propustném pásmu plynulou změnu fáze s frekvencí, se sklonem daným počtem pólů filtru. Pro posouzení těchto vlastností se používá pojmu skupinové zpoždění, což je derivace fáze podle frekvence. U tohoto typu filtru nemá v propustném pásmu skupinové zpoždění zvlnění. Butterworthův filtr je nejvíce používaný filtr v regulační technice.



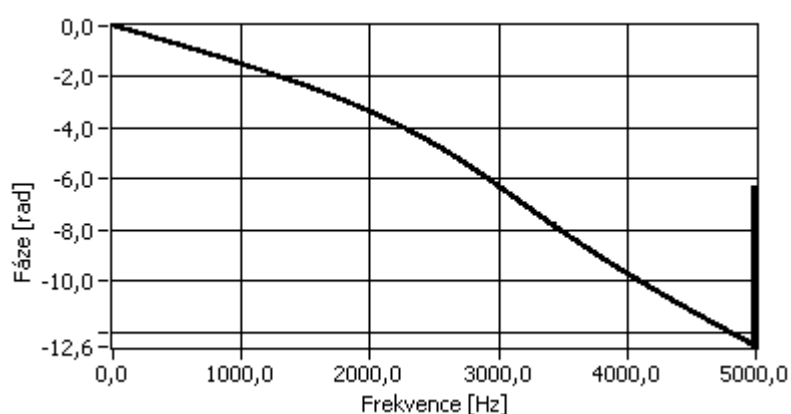
Obr. 16: Fázová frekvenční charakteristika Butterworthova filtru

## 6.2. Besselovy filtry

Besselovy filtry (nazývané též Bessel-Thomsonovy nebo Thomsonovy filtry) jsou navrhovány tak, aby fázová charakteristika byla v pásmu okolo kritické frekvence maximálně lineární. Amplitudová charakteristika v nepropustném pásmu je velmi plochá. Na Obr. 17 je amplitudová frekvenční charakteristika Besselova filtru 8. řádu. Amplitudová charakteristika má neostrý zlom a oproti filtrům ostatních druhů je její přechodové pásmo nejdelší. Na Obr. 18 je pak fázová frekvenční charakteristika Besselova filtru 8. řádu. Fázová část frekvenční charakteristiky je ve své přechodné části plochá nejvíce ze všech popisovaných filtrů.



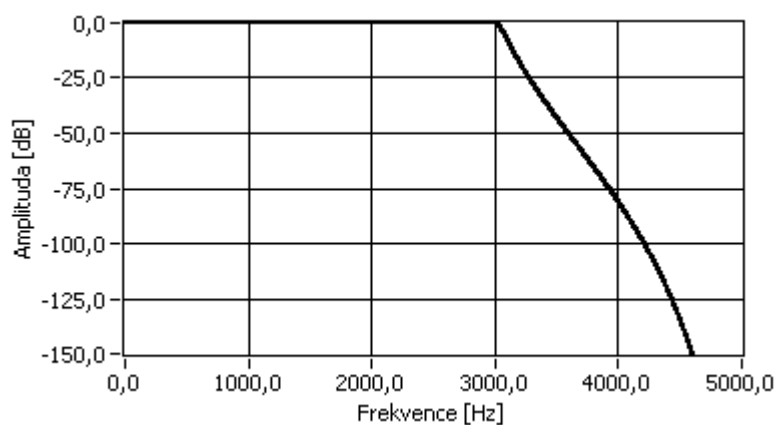
Obr. 17: Amplitudová frekvenční charakteristika Besselova filtru



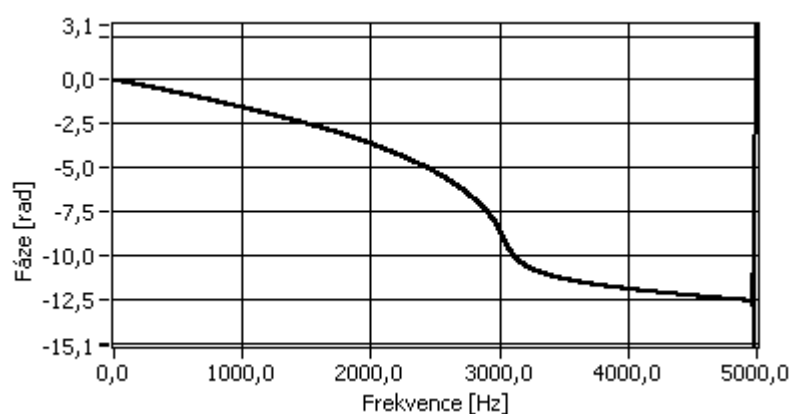
Obr. 18: Fázová frekvenční charakteristika Besselova filtru

### 6.3. Čebyševovy filtry

Výhodou těchto filtrů je fakt, že strmost filtru v blízkém okolí frekvence zlomu je vyšší než odpovídá řádu aproximace. Cenou za tuto příznivou vlastnost, která může vést ke snižování řádu filtru, je zvlnění frekvenční charakteristiky v propustném pásmu. Toto zvlnění je tím větší, čím je větší počáteční strmost charakteristiky v nepropustném pásmu. Poznamenejme, že konečná strmost charakteristiky v nepropustném pásmu asymptoticky odpovídá řádu filtru, tedy  $n \cdot 20$  dB/dek. Při návrhu se používá jako parametr max. dovolené zvlnění (v dB) frekvenční charakteristiky v propustném pásmu. Přechodová charakteristika Čebyševových filtrů má kmitavý charakter s relativně malým tlumením.



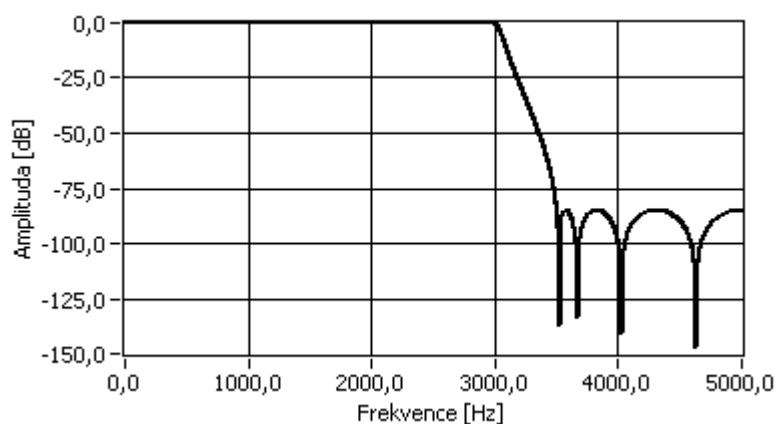
Obr. 19: Amplitudová frekvenční charakteristika Čebyševova filtru



Obr. 20: Fázová frekvenční charakteristika Čebyševova filtru

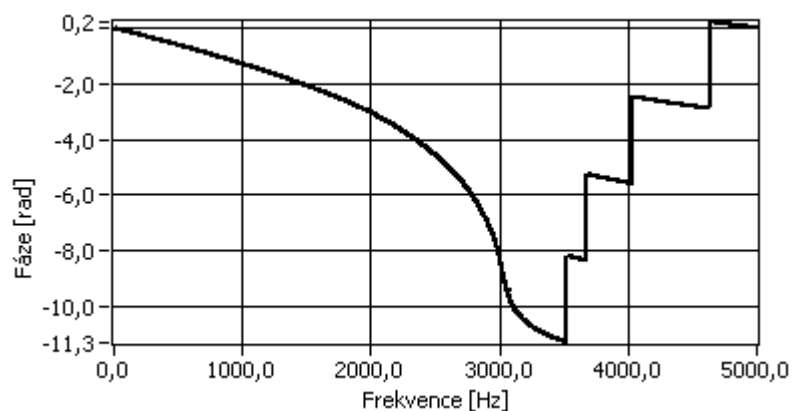
## 6.4. Eliptické filtry

Eliptické, též Cauerovy nebo Cauer-Čebyševovy filtry, byly navrženy Cauerem v roce 1931. Tyto filtry se vyznačují maximální strmostí zlomové části amplitudové charakteristiky, čemuž odpovídá krátké přechodové pásmo. Na Obr. 21 je amplitudová frekvenční charakteristika eliptického filtru 8. řádu s frekvencí zlomu 3 kHz. Na Obr. 22 pak fázová frekvenční charakteristika.



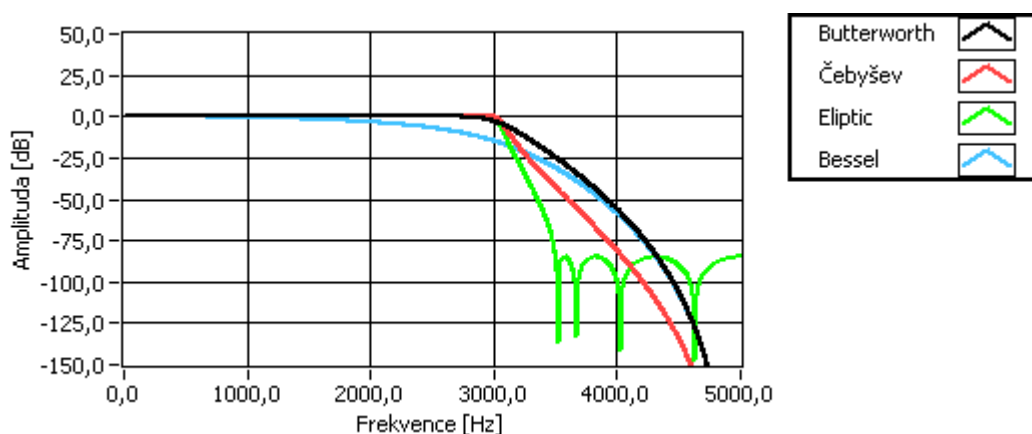
Obr. 21: Amplitudová frekvenční charakteristika eliptického filtru





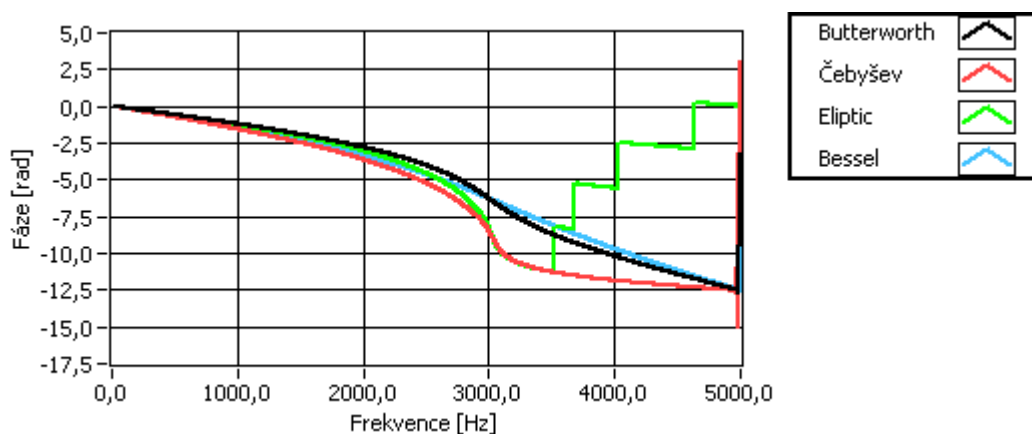
Obr. 22: Fázová frekvenční charakteristika eliptického filtru

## 6.5. Srovnání základních typů 8. řádu



Obr. 23: Amplitudové frekvenční charakteristiky základních typů filtrů 8.řádu s  $f_c=3$  kHz

Porovnání amplitudových frekvenčních charakteristik čtyř základních typů filtrů 8. řádu s frekvencí zlomu 3 kHz a povoleným zvlněním v propustném pásmu 0,2 dB.



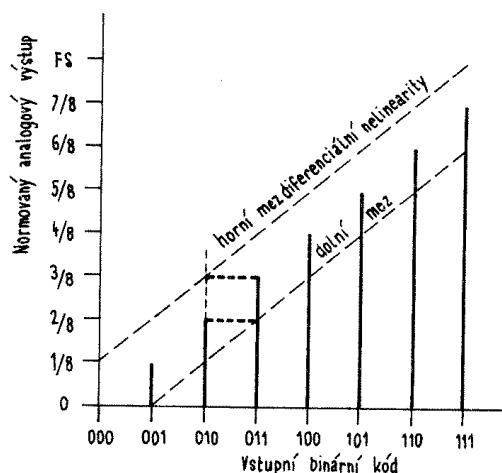
Obr. 24: Fázová frekvenční charakteristiky základních typů filtrů 8.řádu s  $f_c=3$  kHz

[3], [4], [8]

## 7. Digitálně – analogové převodníky D/A

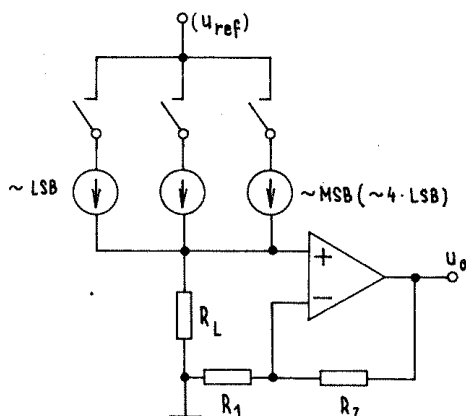
D/A převodníky (Digital-Analog Converters) převádějí číslicové, v čase diskrétní signály na v čase spojitě analogové signály. Spojitě analogové signály jsou potřebné pro práci akčních členů, zapisovačů, syntetizátorů zvukových signálů a řady dalších jednotek.

D/A převodník si můžeme představit jako číslicově nastavovaný potenciometr, který dává napětí (nebo proud) normalizované svojí referenční hodnotou. Obr. 25 popisuje 3- bitový převodník. Převodník má osm analogových výstupních úrovní v rozsahu od nuly do sedmi osmi plného rozsahu. D/A převodník dává při své maximální hodnotě vstupního číslicového signálu kódu analogový ekvivalent hodnoty  $FS - 1 \text{ LSB}$  (LSB, Least Significant Bit – nejnižší platný bit).



Obr. 25: 3-bitový D/A převodník pro 8 úrovní signálu

Základní struktura běžného D/A převodníku je tvořena sítí spínaných proudových zdrojů o hodnotách úměrných MSB až LSB (nejvýznamnější a nejméně významný bit). Každý spínač připojuje proud, odpovídající dvojkové číslici ke sběrnici. Tyto proudové příspěvky jsou sečteny zesilovačem převodníku, který převádí proud na napětí tak, aby se na výstupu získal odpovídající napěťový výstupní signál. Takový jednoduchý převodník můžete vidět na Obr. 26.



Obr. 26: Schéma 3-bitového D/A převodníku

[2]

## 8. Praktická část

Tato část popisuje generátor poruchových signálů na bázi virtuální instrumentace. Generátor umožňuje nastavovat volitelné strmosti a časy rampy sestupu a náběhu obálky amplitudy, změnu frekvence rovněž dle definované rampy. Lze vybrat různou vzorkovací frekvenci, která pak ovlivňuje počet vzorků na periodu. Generovaný signál se opakuje po 200 ms časových oknech a jeho výstup je možné vyhlazovat přes uživatelem zvolený filtr. Generátor slouží pro testování analyzátoru kvality elektrické energie, na kterém bylo provedeno několik měření (kapitola 9).

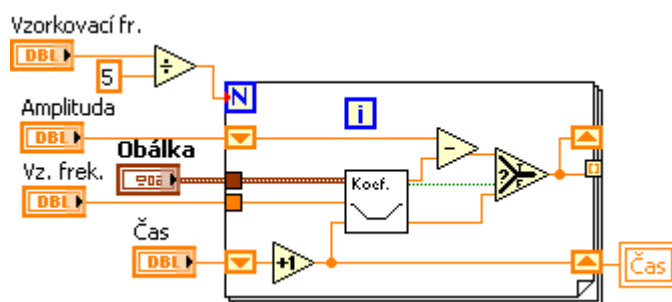
Při návrhu a implementaci programu nastalo několik problémů, které jsou popsány níže.

### 8.1. Problémy vzniklé při realizaci programu

#### 8.1.1. Zajištění stálého generování signálů po 200 ms

První problém, který musel být v programu vyřešen, bylo zajištění neustálého generování vzorků po 200 ms. Toto je důležité zejména pro delší časy – řádově desítky sekund až minut. Při delších časech a větších vzorkovacích frekvencích by vznikaly větší nároky na výkon počítače, jelikož by musel vygenerovat celou délku poruchového signálu.

V programu jsem tento problém vyřešil postupným generováním signálu po jednotlivých vzorcích. Jejich počet je určen ze vzorkovací frekvence a tento počet je použit pro opakovací cyklus smyčky *for*. Tím jsem zajistil postupné generování signálu pro obálku amplitudy a následně i pro generování obálky pro výpadek signálu.

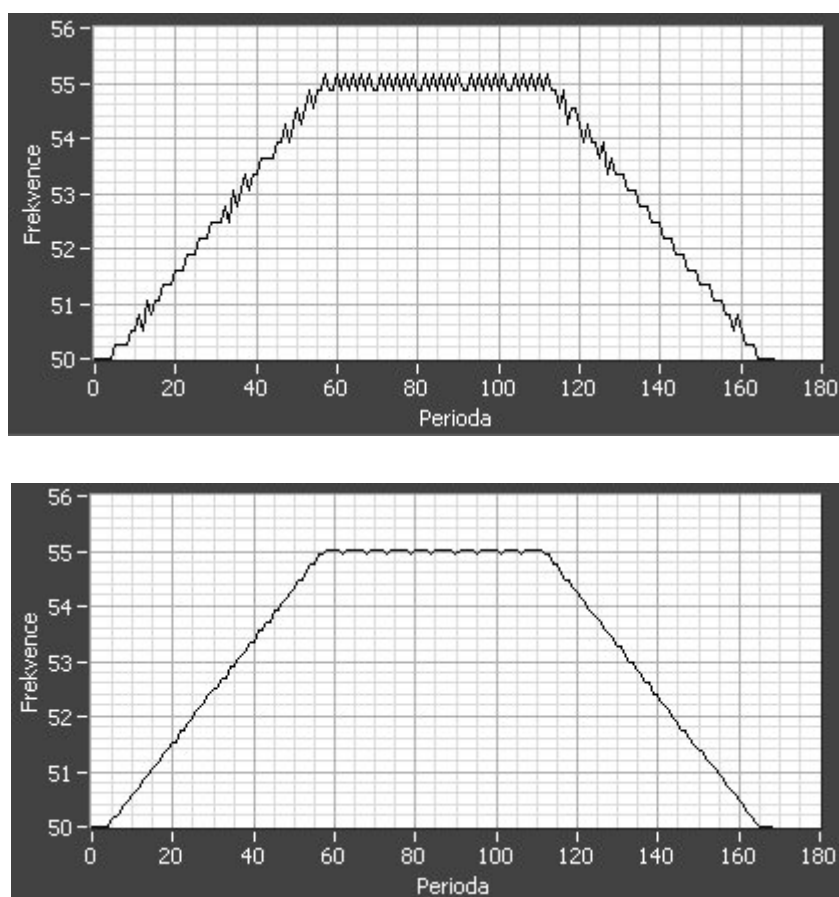


Obr. 27: Smyčka pro generování 200 ms obálky amplitudy.

### 8.1.2. Zajištění dostatečné přesnosti generované frekvence

Pro generování sinusového signálu, které má mít určitou frekvenci v rozmezí 45 – 55 Hz je potřeba zajistit, aby signál měl dostatečnou vzorkovací frekvenci. Pokud bude mít signál malý počet vzorků, vzniká větší nepřesnost při vyhodnocení frekvence, která se zjišťuje pomocí průchodů nulou a tento průchod se neaproximuje přesně v nule. To má pak za následek větší rozdíl frekvence než při vyšších vzorkovacích frekvencích, kdy větší počet bodů má přesnější aproximaci průchodu nulou.

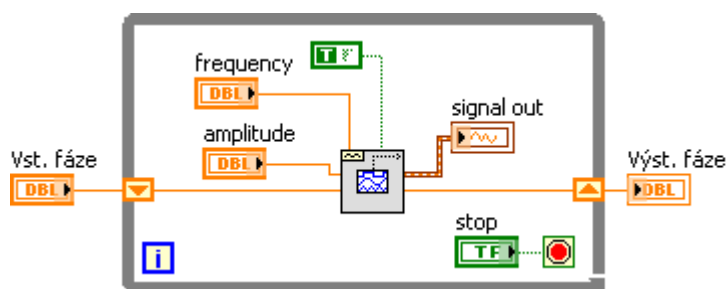
Na Obr. 28 je uveden graf pro dvě vzorkovací frekvence. Je zde vidět, jaký vliv má přesnost aproximace průchodu nulou pro výpočet frekvence.



Obr. 28: Vliv aproximace průchodu nulou pro dvě frekvence vzorkování 9 600 a 38 400 vz./s.

### 8.1.3. Zajištění přesné návaznosti fáze

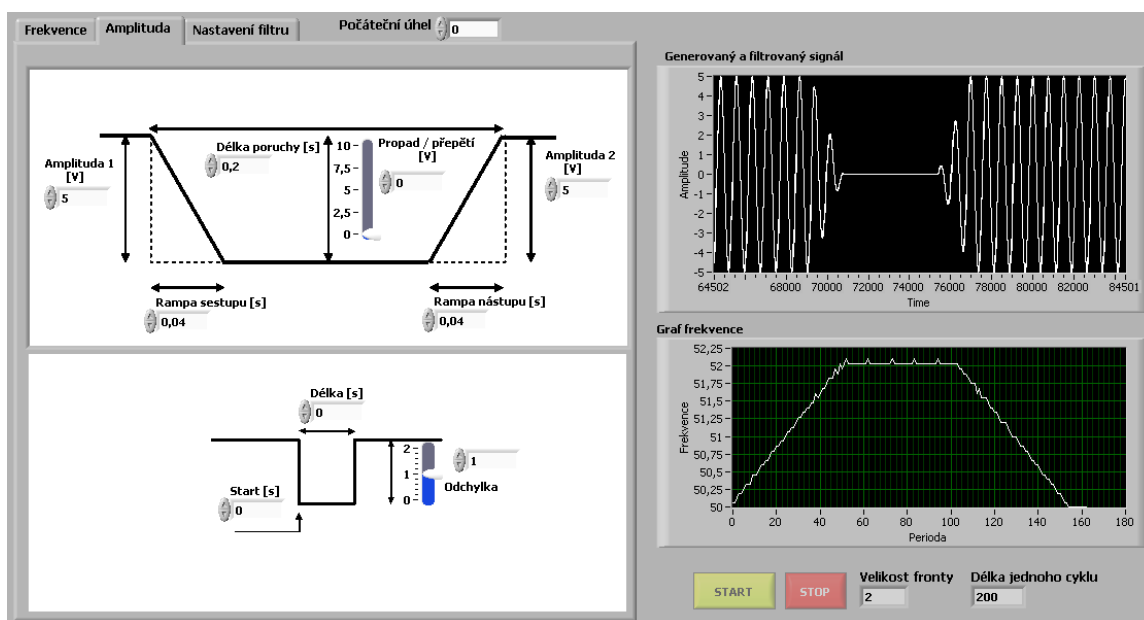
Dalším problémem při generování sinusového signálu při přechodu poruchového signálu a signálu, který je generován kontinuálně, je správný sled fází. Tento problém je v programu vyřešen tak, že každý generátor sinusového signálu má na svém vstupu zadanou i vstupní fázi, na které má signál začít generovat. Po vygenerování daného počtu period je tato fáze opět vyvedena přes pin *Phase out*. Tento signál je přiveden do Shift registru, který má za funkci převádět tuto fázi do dalšího kroku. Po skončení generování poruchy se tato fáze přivede na generátor 50 Hz signálu, který má opět jako vstupní parametr *Phase In*. Poté je sled fází dodržen i při opakovaném spouštění generátoru poruchy. Ukázkový příklad je uveden na Obr. 29.



Obr. 29: Ukázkový příklad pro zachování fáze generovaného signálu

## 8.2. Popis čelního panelu generátoru

Každý program v grafickém programovacím prostředí LabVIEW obsahuje 2 části. Tato kapitola popisuje ovládací část programu, tzv. GUI (*Graphical User Interface*) – Grafické uživatelské rozhraní (Obr. 30).



Obr. 30: Ovládacího panelu generátoru

### 8.2.1. Zadávání vstupních hodnot

První část obsahuje ovládací panel, který může být přepnut do jedné ze tří záložek (Obr. 31). V každé záložce se nastavují jiné parametry viz dále.

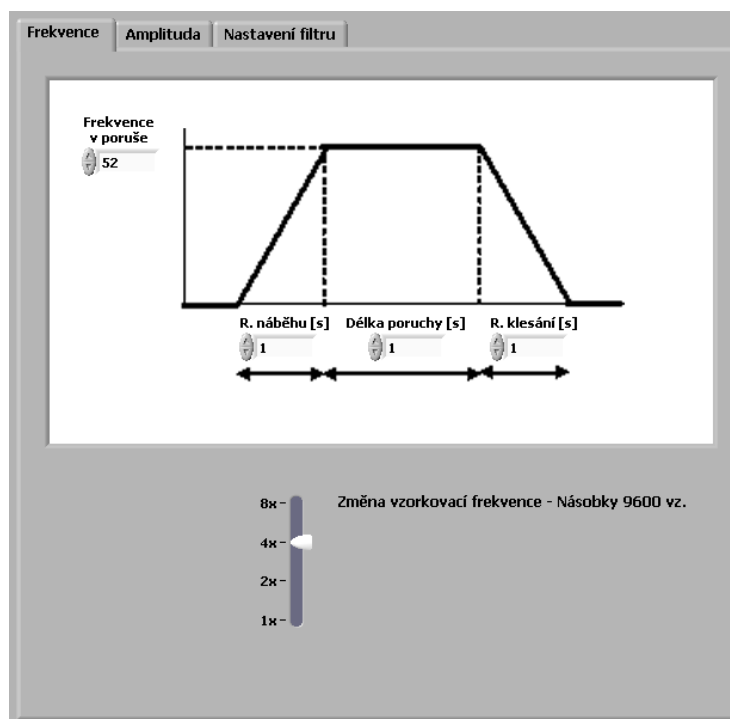


Obr. 31: Volba jednoho ze tří zadávacích oken

#### **Frekvence:**

V první záložce (Obr. 32) se nastavují všechny parametry týkající se frekvence. Je možné zadat velikost frekvence, která bude generována v době poruchy v rozmezí 45 – 55 Hz s krokem změny 0,1 Hz, strmost sestupu a nástupu změny frekvence a její délku. Základní generovaná frekvence před poruchou a po poruše je 50 Hz, tzn. pokud uživatel zadá 50 Hz i v tomto panelu, nebude mít toto nastavení na generování poruchy vliv.

Další parametr v této záložce je vzorkovací frekvence, která lze měnit v rozmezí 1 – 8 násobek základní vzorkovací frekvence 9 600 vz./s. Při všech měřeních, které byly v této práci provedeny, byla zvolena vzorkovací frekvence 38 400 vz./s.



Obr. 32: První záložka pro zadávání ramp frekvencí

### Amplituda:

V druhé záložce (Obr. 33) se nacházejí ovládací prvky pro zadávání vstupních parametrů obálky amplitudy generovaného signálu. Podobně jako u frekvence je možné zadat délky sestupné a nástupné rampy pro amplitudu. Lze nastavit počáteční a konečnou amplitudu a velikost napětí v poruše. Pomocí tohoto parametru lze nastavit jeden ze tří výsledných signálů:

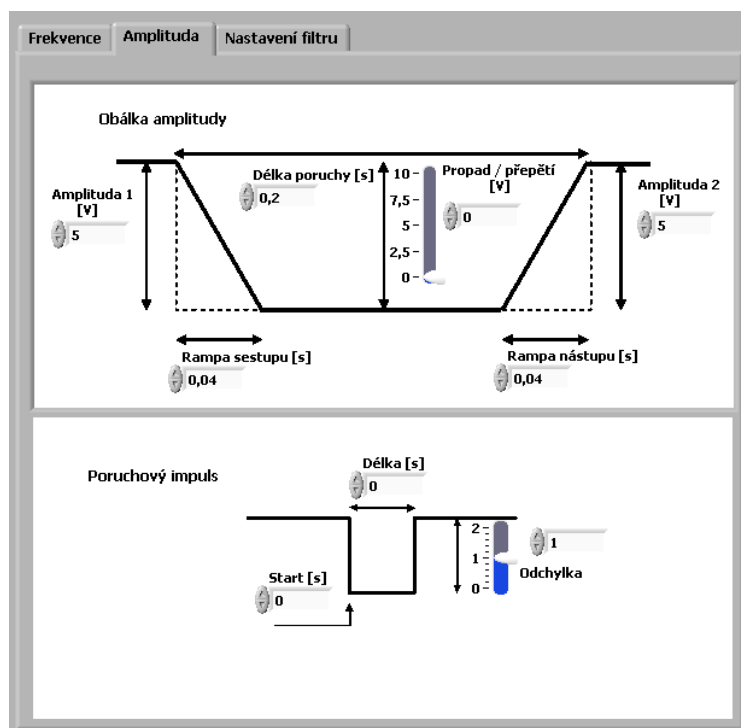
- podpětí
- přepětí
- výpadek signálu

Důležité je správně zadat délku poruchy tak, aby byla delší než součet délek obou ramp.

### Poruchový impuls:

Dále je v této záložce možnost nastavit krátký poruchový impuls, který podle zadané odchylky může nabývat jeden z těchto režimů:

- odchylka = 0 – generovaný signál bude mít v době poruchy nulovou amplitudu – výpadek signálu
- odchylka > 1 – generovaný signál bude v době poruchy přepětí
- odchylka < 1 – generovaný signál bude v době poruchy podpětí
- odchylka = 1 – poruchový impuls nebude mít na generování vliv



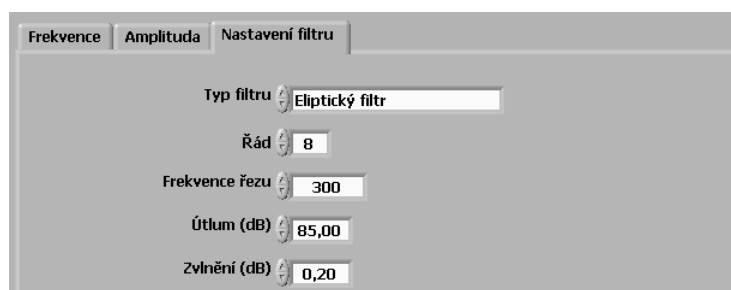
Obr. 33: Druhá záložka pro nastavení ramp amplitudy obálky a krátkého přerušení / podpětí / přepětí

### Nastavení filtru:

V poslední záložce (Obr. 34) lze na výstup připojit softwarový dolnoproustný antialiasing filtr, který odstraňuje vysoké frekvence, poruchové kmitání měřené hodnoty a vylepšuje napětí. Na výběr jsou tyto filtry:

- Eliptický
- Čebyševův
- Butterworthův
- Besselův
- Bez filtru

U každého filtru je možné zadat řád (1-9), frekvenci řezu (1 Hz – 10 kHz), útlum (1 – 180 dB) a zvlnění (0,01 – 3 dB). Podrobnější popis jednotlivých typů filtrů je popsán v kapitole 6 Filtry.



Obr. 34: Třetí záložka pro nastavení výstupního filtru

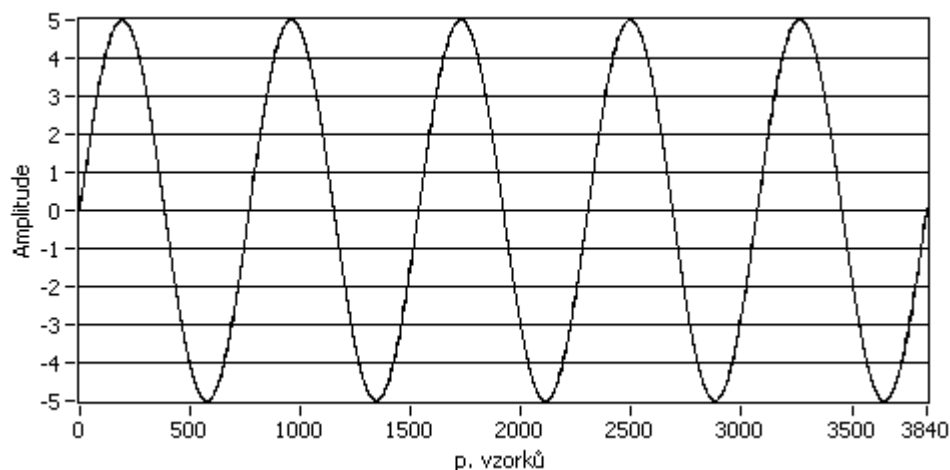


## 8.2.2. Výstupní grafy

V druhé části čelního programu jsou zobrazeny 2 grafy.

První z nich (Obr. 35) zobrazuje aktuálně generovaný signál, který je už vyhlazen antialiasing filtrem (pokud je zvolen). Tento graf se aktualizuje se stejnou frekvencí, jako se posílá na analogový výstup, tzn. co 200 ms.

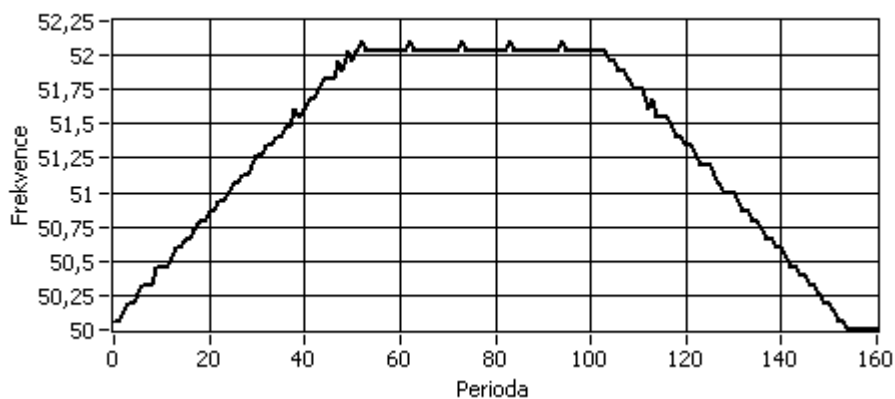
**Generovaný a filtrovaný signál**



*Obr. 35: Výstupní generovaný a filtrovaný signál*

Druhý graf (Obr. 36) zobrazuje graf frekvence po jednotlivých periodách. Graf se zobrazí až při generování poruchy, tzn. při stisku tlačítka START. Počet period závisí na délce poruchového signálu.

**Graf frekvence**

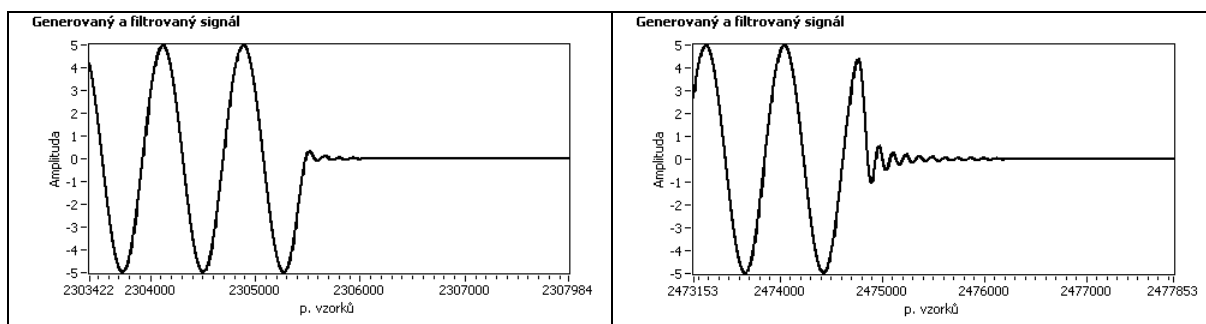


*Obr. 36: Graf frekvence generovaného signálu*

### 8.2.3. Ovládací tlačítka, délka smyčky, velikost fronty

Poslední část spouští generování poruchy podle předem nastavených parametrů v jednotlivých záložkách (kap. 8.2.1).

Program od svého spuštění generuje 50 Hz signál o výchozí amplitudě 5 V. Porucha se začne generovat stiskem tlačítka START, ale až od zadaného počátečního úhlu. Ten má vliv na rychlost ustálení filtrovaného signálu (Obr. 37). Během poruchy není možné měnit žádné nastavení a všechny ovládací prvky zůstanou zašedlé. Po skončení poruchy se opět generuje 50 Hz signál, ale již s konečnou amplitudou, která je zadána v druhé záložce (Obr. 33). Všechny tlačítka a ovládací prvky se opět uvolní pro další nastavování.

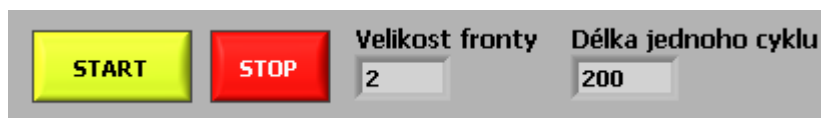


Obr. 37: Start výpadku ve zvoleném počátečním úhlu - vlevo start v  $0^\circ$ , vpravo start v  $90^\circ$  - použit eliptický filtr – 8.řádu

Tlačítko STOP slouží pro zastavení celého programu. Během generování poruchy je tlačítko neaktivní.

Pro kontinuální odesílání signálu na analogový výstup je potřeba zajistit, aby byly v bufferu nachystané výstupní data. Pokud by tomu tak nebylo, automaticky by se odesílal předchozí blok dat a měřený signál na analyzátoru by byl zkreslen. Proto je v programu zřízená fronta, která obsahuje 2 následující bloky dat, které jsou okamžitě k dispozici. Velikost této fronty lze vidět na čelním panelu uživatelského programu.

Délka jednoho cyklu zobrazuje trvání jednoho oběhu programu pro vygenerování jednoho bloku dat.

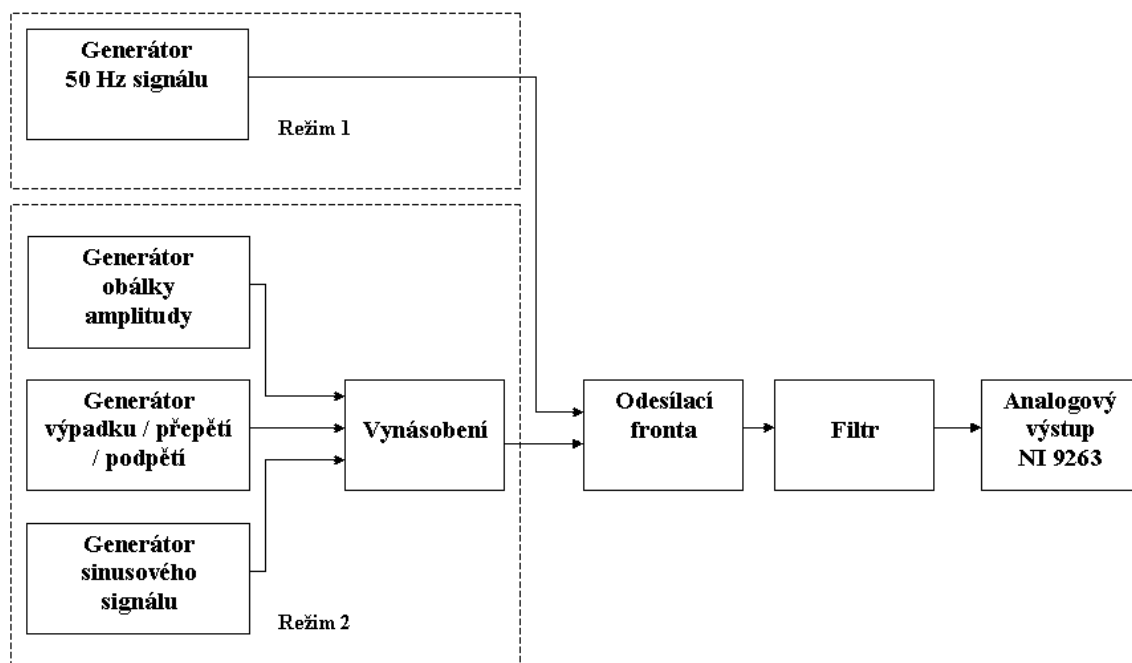


Obr. 38: Ovládací tlačítka, velikost fronty, délka cyklu

### 8.3. Popis programového kódu generátoru

Generátor pracuje ve dvou režimech, které jsou uvedeny na blokovém schématu, (Obr. 39) které budou podrobněji popsány dále.

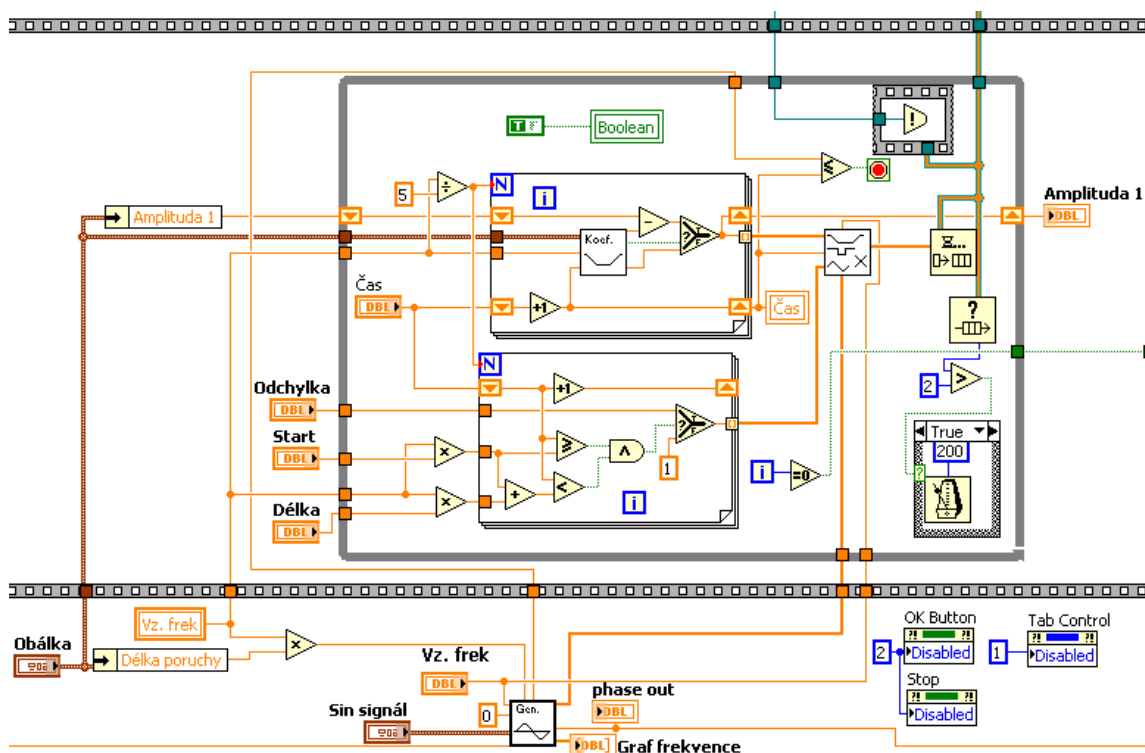
Následuje popis zdrojového kódu v programovém prostředí LabVIEW s jeho podrobným popisem jednotlivých částí programu.



Obr. 39: Blokové schéma generátoru

#### 8.3.1. Aplikace pro generování signálu (Obálka.vi)

Hlavní aplikace generátoru pro svou funkci využívá řadu dílčích podprogramů (SubVI), které jsou podle potřeby hlavním programem spouštěny. Jednotlivé SubVI jsou postupně popsány v dalších kapitolách.



Obr. 40: Náhled programového kódu pro generování poruchového signálu - 1. část

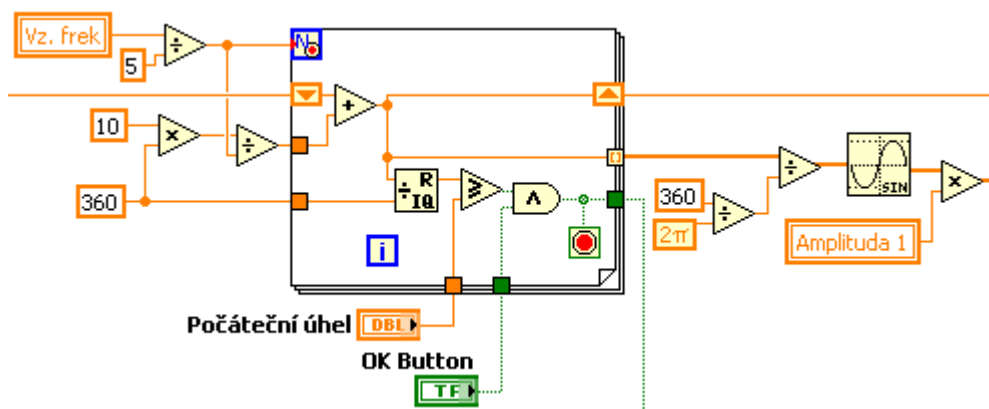
Výstupní signál je generován cyklicky pro jedno časové okno  $T_v = 200$  ms, které je dáno normou. Čas se pomocí vzorkovací frekvence převede na počet vzorků, které je potřeba vygenerovat. Generátor pracuje v jednom ze dvou režimů:

1. **Generátor 50 Hz signálu** – je neustále generován do té doby, než je stisknuto tlačítko START. Tím se spustí druhý režim – generátor poruchového signálu. Po skončení poruchy se opět nastaví tento režim a opakuje se do dalšího stisku tlačítka START.
2. **Generátor poruchového signálu** – režim probíhá od stisku tlačítka START po ukončení poruchy. Poté se opět automaticky přepne do prvního režimu, který se opakuje do dalšího stisku tlačítka START.

Oba tyto režimy jsou uvedeny v blokovém schématu na Obr. 39.

### Režim 1 – Generátor 50 Hz signálu

Po spuštění programu je automaticky generován 50 Hz signál, který má počáteční amplitudu. Generuje se vždy 10 period, které odpovídají délce  $T_v = 200$  ms. Generování se opakuje do té doby, než je uživatelem stisknuto tlačítko START pro zahájení poruchy. Pokud je stisknuto, program se hned nepřepne do režimu 2, ale vygeneruje se ještě zadaný počáteční úhel a poté se smyčka *for* ukončí. Konečný úhel se přivede na *Shift* registr a následně se přivede na generátor poruchy jako vstupní fáze. Tím je zaručeno, že generátor přesně naváže na předchozí signál bez skokové změny fáze. Náhled programového kódu, který toto generování zajišťuje, je uveden na Obr. 41.



Obr. 41: Náhled programového kódu pro generování 50 Hz signálu

## Režim 2 – Generátor poruchového signálu

Poruchový signál je složen ze tří částí:

- **Generátoru obálky signálu** – generuje rampu změny amplitudy.
- **Generátoru krátkodobého výpadku** – podle zvolené amplitudy může generovat výpadek (při nastavené amplitudě = 0), přepětí (amplituda větší než 1) a podpětí (amplituda menší než 1).
- **Generátor sinusového signálu** – (Sub VI *Gen\_faze.vi*) vygeneruje celou délku poruchového signálu, podle zadanych parametrů na ovládacím panelu programu. Je možné zadat délku nástupné a sestupné hrany k dosažení poruchové frekvence, velikost poruchové frekvence v rozmezí 45 – 55 Hz a délku trvání poruchy. Maximální hodnota zadávaných veličin je 20 s.

Všechny výše zmíněné signály se vynásobí (Sub VI *Nasobeni\_signalu.vi*), čímž vznikne výsledný poruchový signál, který obsahuje přesný počet vzorků pro 200 ms. Ten se dá programově měnit na ovládacím panelu. Na výběr jsou čtyři násobky základní vzorkovací frekvence 9600 vz./s – 9600, 19200, 38400 a 76800 vz./s.

Vynásobený signál se vloží do fronty pro odeslání na výstup. Testuje se, zda fronta neobsahuje více jak 2 bloky vygenerovaných dat. Pokud ano, programový kód se zpozdí o 200 ms. Velikost této fronty lze vidět na ovládacím programu, kde je mimo to zobrazena i délka jedné generované smyčky.

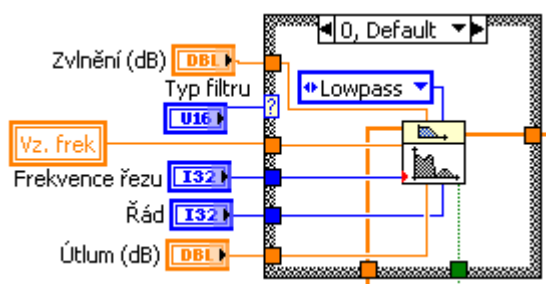
Poté je signál z fronty vyzvedáván a vyhlazen přes jeden z těchto čtyř základních typů filtrů:

- Butterworthův filtr
- Čebyševův filtr
- Besselův filtr
- Eliptický filtr
- Bez filtru

U těchto filtrů je možné zadat následující parametry:

- Řád filtru v rozmezí 1 - 9
- Frekvenci řezu, někdy označovanou jako frekvence zlomu v rozmezí 1 Hz – 10 kHz
- Útlum v dB v rozmezí 1 – 180 dB.
- Zvlnění v propustném pásmu v dB, které je možné zadat v rozmezí 0,01 – 3 dB
- Všechny filtry jsou nastaveny jako dolnoproputné a nelze je v tomto programu měnit.

Programový kód pro různé filtry je uveden na následujícím obrázku (Obr. 42).

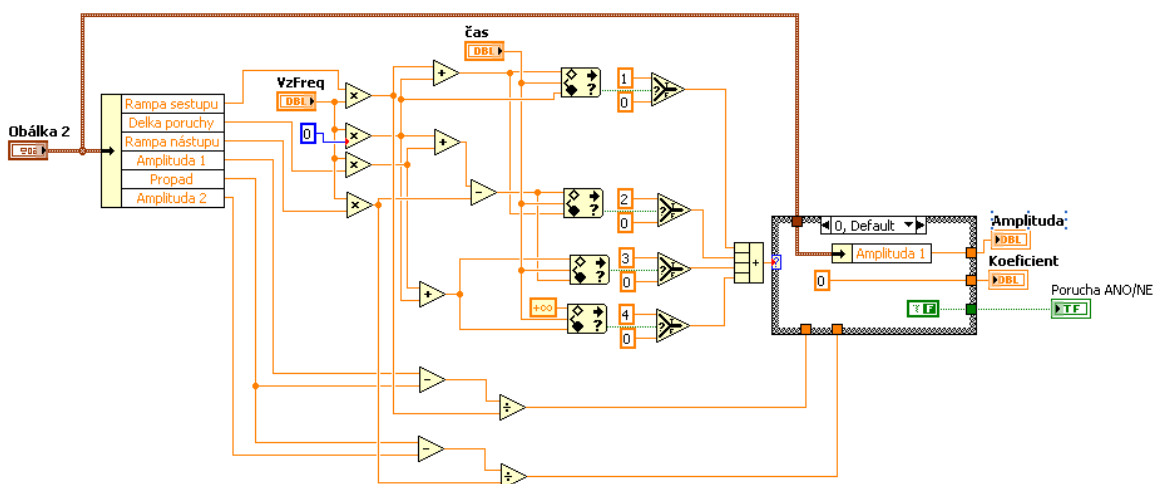


Obr. 42: Náhled programového kódu pro použití filtrů

Po vyhlazení se signál pošle přes na analogový výstup, odkud je následně připojen na analyzátor na bázi virtuální. Blokové schéma celého procesu je uvedeno na následujícím obrázku (Obr. 39).

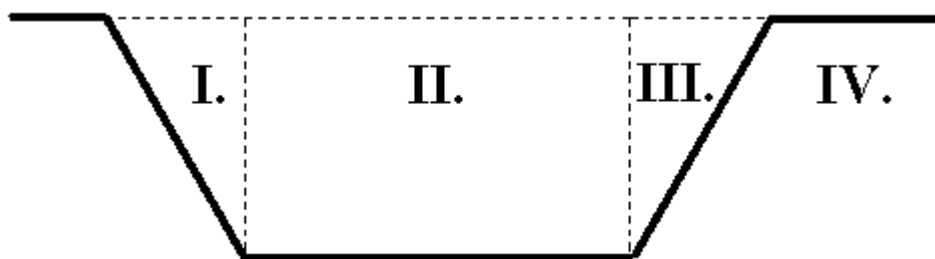
### 8.3.2. Výpočet koeficientu pro generování obálky amplitudy (Koeficient.vi)

Tento podprogram na základě strmosti a času ramp sestupu a náběhu amplitudy počítá velikost změny napětí pro každý generovaný vzorek signálu. Díky těmto koeficientům se vygeneruje obálka amplitudy, která je uvedena např. na Obr. 44.



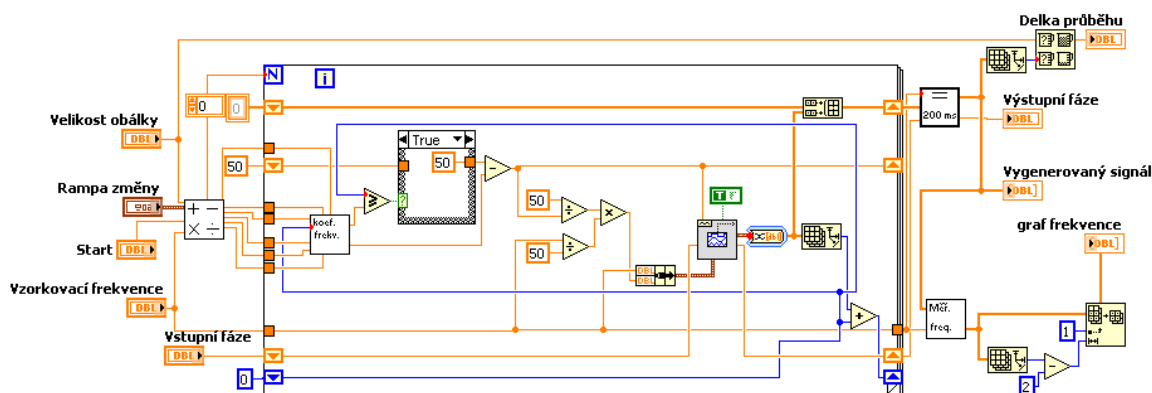
Obr. 43: Náhled programového kódu pro výpočet koeficientu amplitudy.

Do programu je přiveden *cluster*, ve kterém jsou uloženy všechny vstupní hodnoty. Následně se pomocí porovnávacích funkcí určí, ve které oblasti generování amplitudy se program nachází (Obr. 44). Poté se pomocí *Case* struktury nastaví na výstup požadovaný koeficient změny amplitudy, který je vypočten z délky nástupné a sestupné hrany, délky poruchy a požadovaného poklesu. Jelikož se tento koeficient přičítá k aktuálně generované velikosti amplitudy, může nastat v intervalu II. a IV. drobná nepřesnost. V programu je to ošetřeno tím, že jsou na výstupu dvě hodnoty. Jedna pro amplitudu, která je konstantní v intervalu II. a IV. a druhá pro koeficient změny, který je na výstupu jen když se porucha nachází v intervalu I. a III. Výstup je přepínán přes pomocnou proměnou.



Obr. 44: Rozdělení generování amplitudy na jednotlivé intervaly

### 8.3.3. Program pro generování sinusového signálu o proměnlivé frekvenci (Gen\_faze.vi)



Obr. 45: Náhled programového kódu pro generování sinusového signálu

Program generuje sinusový signál pro celou délku poruchy. Vstupní *cluster* (rampa změny) obsahuje velikosti nástupné a sestupné rampy včetně velikosti frekvence v poruše. SubVi *pomocny\_vypocet.vi* vypočte koeficienty změny pro nástup a sestup poruchové frekvence a její opětovný návrat na 50 Hz pro jednotlivé periody signálu.

Výstup z této funkce je přiveden do dalšího SubVi (*koeficient\_frekvence.vi*), které podle množství již vygenerovaných vzorků určí, zda má frekvence klesat, stoupat nebo zůstat konstantní. Program pracuje s obdobnými intervaly, které byly popsány výše. Výstup pak je již koeficient změny frekvence, který je přiveden na generátor jedné periody sinusového signálu. Ten se po každé periodě přidá do výstupního pole, kde se nakonec vloží celá délka poruchového signálu.

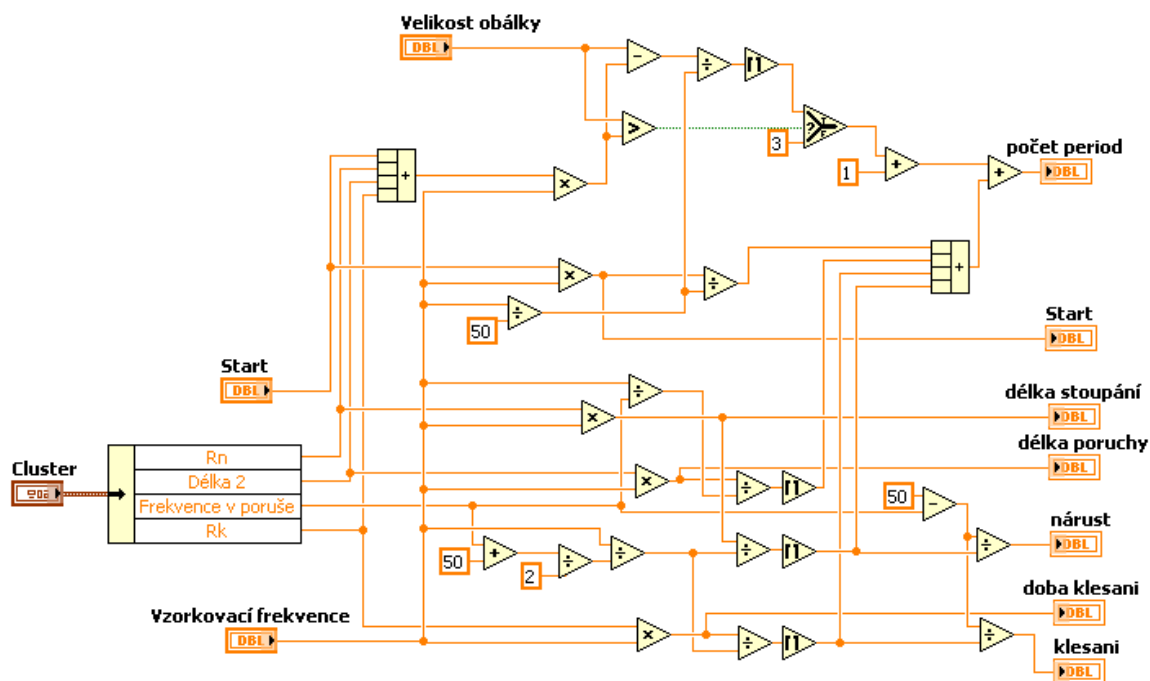
Dále je potřeba zabezpečit, aby výstupní pole mělo takový počet prvků, aby odpovídalo celistvému násobku 200 ms. Tento problém řeší SubVi *dogeneruj\_zbytek.vi*, které toto pole doplní o 50 Hz signál patřičným počtem prvků. Jelikož tento signál nekončí v počáteční fázi, je potřeba výstupní fázi vyvést na výstup, aby se zajistilo plynulé generování sinusového signálu po skončení poruchy.

Poslední část programu (*mereni\_frekvence.vi*) počítá z vygenerovaného pole sinusového signálu frekvenci jednotlivých period. Výstupem je graf frekvence, který je zobrazen v hlavním ovládacím okně uživatelského programu.



### 8.3.4. Program na pomocné výpočty (Pomocny\_vypocet.vi)

Program, který počítá pomocné výpočty, které slouží pro další zpracování signálu.



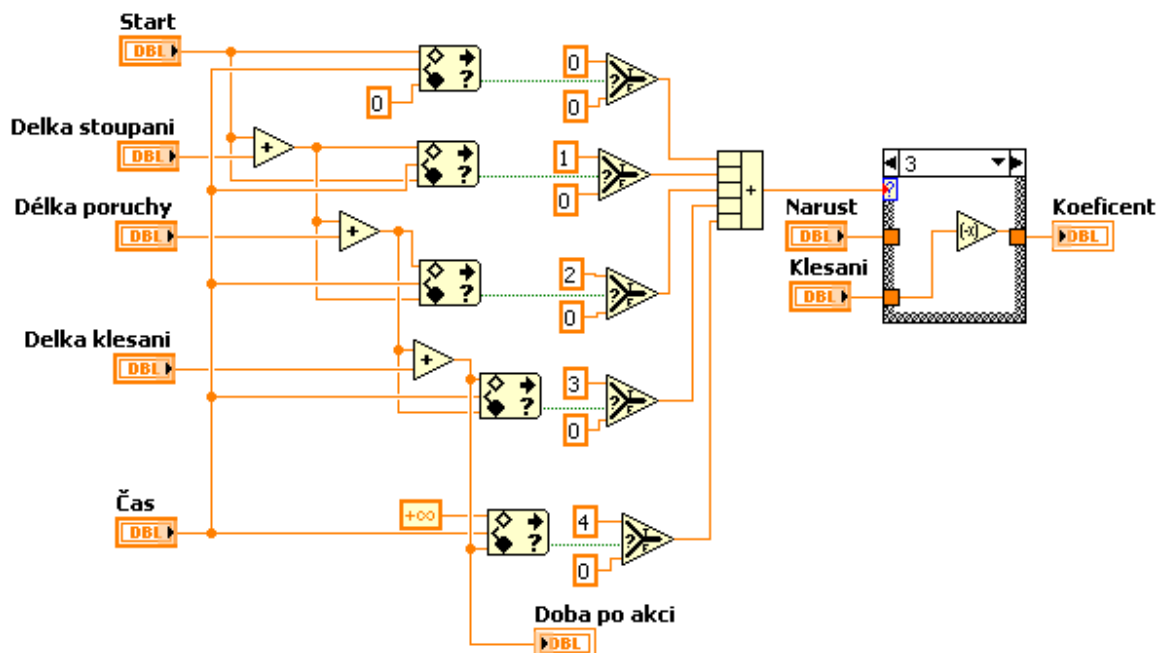
Obr. 46: Náhled programového kódu pro generování sinusového signálu

Podprogram, který slouží jako pomocný program pro generování sinusového signálu. Na vstup je přiveden *cluster*, ve kterém jsou do programu přivedeny délky nástupné a sestupné hrany, délka poruchy a frekvence v poruše.

Po převodu všech časových údajů na počet vzorků se vypočítají jednotlivé délky intervalů. Ty se podělí střední hodnotou poruchové periody a získá se tak počet potřebných period pro vygenerování, který je zaokrouhlen na celé číslo nahoru. Dalším výpočtem se určí i velikost změny frekvence v každé periodě pro nástup na poruchovou frekvenci a její návrat zpět na 50 Hz. Všechny hodnoty jsou vyvedeny na výstup a jsou použity pro správnou funkci generátoru sinusového signálu *gen\_faze.vi*.

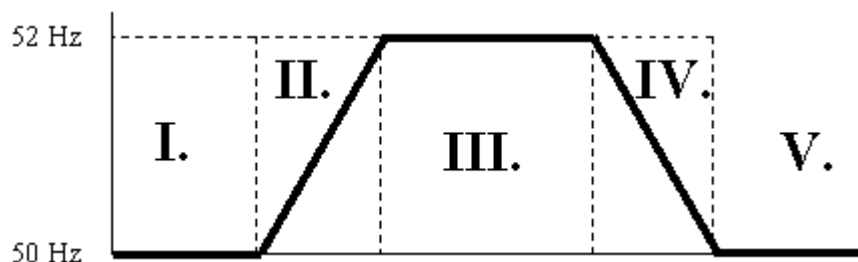
### 8.3.5. Výpočet koeficientu frekvence (Koefficient\_frekvence.vi)

SubVI, které na základě času určuje velikost koeficientu pro změnu frekvence, která se mění každou generovanou periodou signálu.



Obr. 47: Náhled programového kódu pro generování sinusového signálu

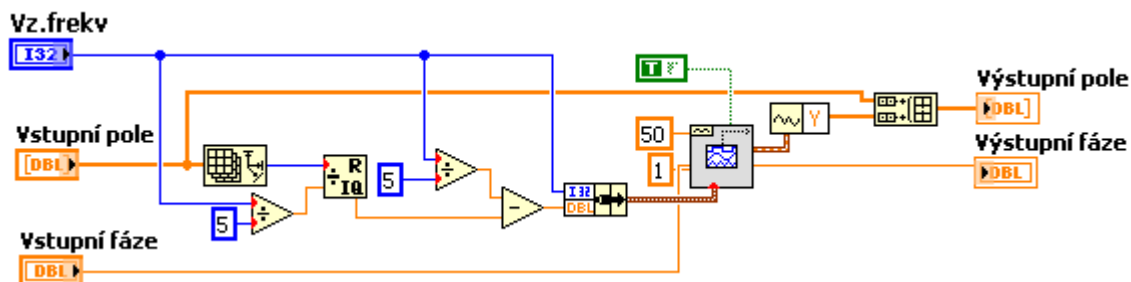
Podprogram, který pro své fungování vyžaduje hodnoty z předchozího SubVi (*pomocny\_vypocet.vi*). Pomocí proměnné *Čas* a porovnávacích funkcí určí, v jakém intervalu se porucha nachází (Obr. 48). Pokud se bude nacházet v II. nebo IV. intervalu, na výstup se nastaví hodnota koeficientu pro nástup nebo pro pokles frekvence, který je již přiveden do tohoto podprogramu z předchozího SubVi (*pomocny\_vypocet.vi*). U ostatních intervalů bude na výstupu nastaven nulový koeficient.



Obr. 48: Rozdělení intervalu pro změnu frekvence

### 8.3.6. Dogenerování celistvého násobku 200 ms (Dogeneruj\_zbytek.vi)

Při generování poruchového signálu, kdy má každá perioda jiný počet vzorků, nelze docílit vygenerování celistvého násobku 200 ms. Tento problém odstraňuje toto SubVI, na jehož výstupu je celistvý násobek 200 ms.



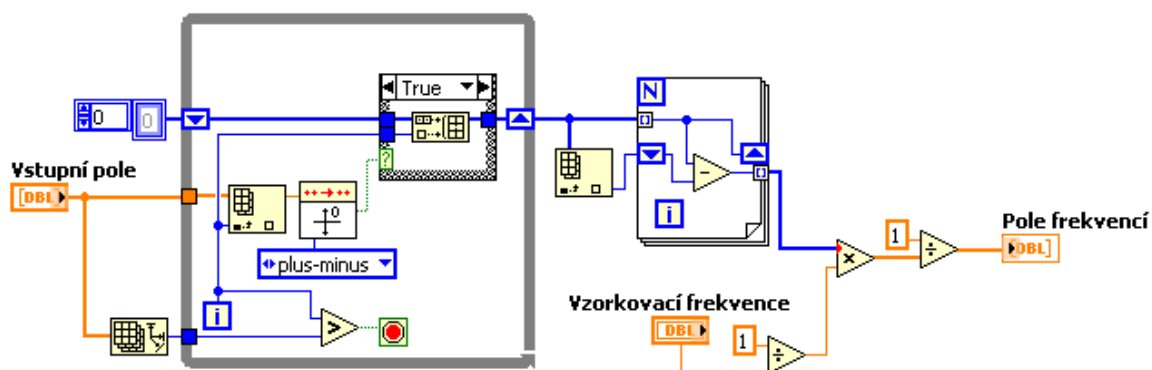
Obr. 49: Náhled programového kódu pro generování celistvých 200 ms

Program se skládá ze tří hlavních částí:

1. Zjistí se velikost vstupního pole, které vygenerovalo SubVi *gen\_faze.vi*. Ze vzorkovací frekvence a funkce modulo se zjistí, kolik prvků chybí ve vstupním poli, aby bylo beze zbytku dělitelné 200 ms.
2. Následně se tento počet prvků vygeneruje pro frekvenci 50 Hz a se zadanou vzorkovací frekvencí. Důležité pro zachování sledu fází je přivést generátoru sinusového signálu požadovanou počáteční fázi. Koncová fáze je poté vyvedena na výstup pro návaznost v dalších částech programu.
3. Poslední část sloučí vstupní pole s tímto 50 Hz signálem. Na výstupu pak je signál, který má již celistvý násobek 200 ms.

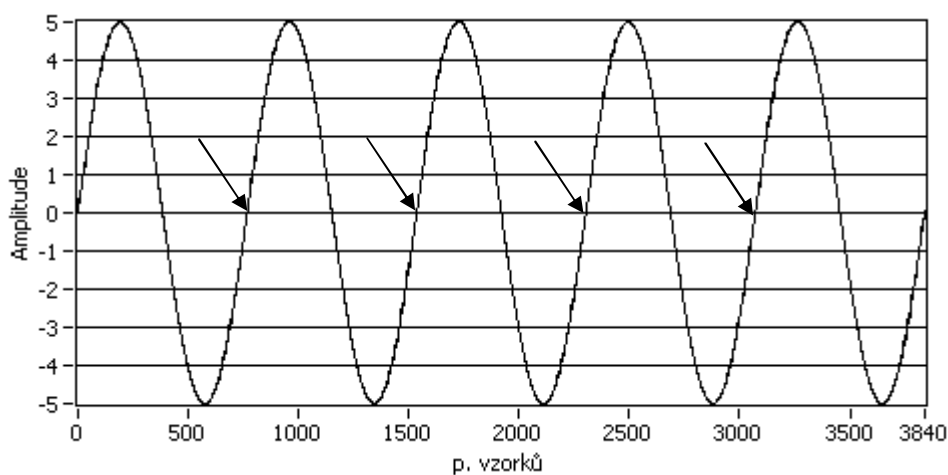
### 8.3.7. Měření frekvence (Měření\_frekvence.vi)

Tento program je vložen jako podprogram do generátoru poruchového signálu *Gen\_faze.vi*. Tato část kódu má za úkol ze vstupního pole prvků spočítat velikost frekvence jednotlivých period a uložit je do výstupního pole, ze kterého je poté možnost zobrazit graf generované frekvence.



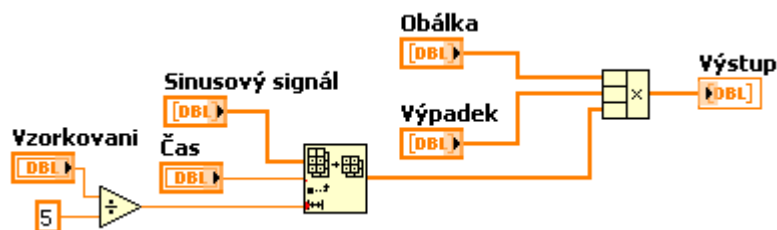
Obr. 50: Náhled programového kódu pro měření frekvence

Ze vstupního pole se pomocí funkce průchod nulou (*Zero crossing*) zjistí jednotlivé indexy přechodů plus-minus (Obr. 51). Z každých dvou sousedních indexů se vypočítá počet vzorků na periodu a z té pak frekvence jednotlivých period. Výstupem je pak pole obsahující hodnoty frekvencí jednotlivých period.



Obr. 51: Detekce průchodu nulou

### 8.3.8. Násobení signálu (Nasobeni\_signalu.vi)



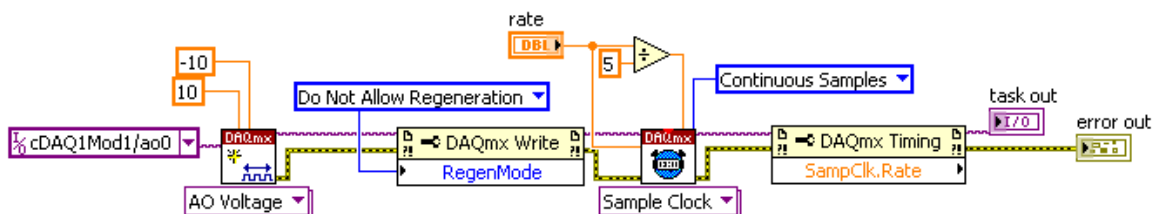
Obr. 52: Náhled programového kódu pro násobení tří složek generovaného signálu

Program násobí tři složky signálu:

- Generovaný sinusový signál
- Obálku amplitudy
- Krátkodobý výpadek signálu

Sinusový signál je potřeba rozdělovat po 200 ms, jelikož vstupní pole obsahuje celou délku poruchy. Ostatní dva signály (obálka amplitudy a výpadek signálu) již mají správnou velikost, proto je není potřeba dále upravovat. Všechny 3 složky se vynásobí a uloží do výstupního pole.

### 8.3.9. Nastavení měřicí karty (Set\_mereni.vi)



Obr. 53: Náhled programového kódu nastavení měřicí karty

V této poslední části se nastavují následující parametry měřicí karty:

1. výběr analogového výstupu ao0
2. měřicí rozsah karty
3. zakázaná regenerace odesílacího *bufferu*
4. vzorkovací frekvence na kanál – určuje počet odesílaných vzorků za 1 sekundu
5. nastavení režimu odesílání vzorků – Data se odesílají, dokud nebude kanál ukončen
6. výstup, ve kterém se zobrazují případné chyby

## 9. Praktická měření

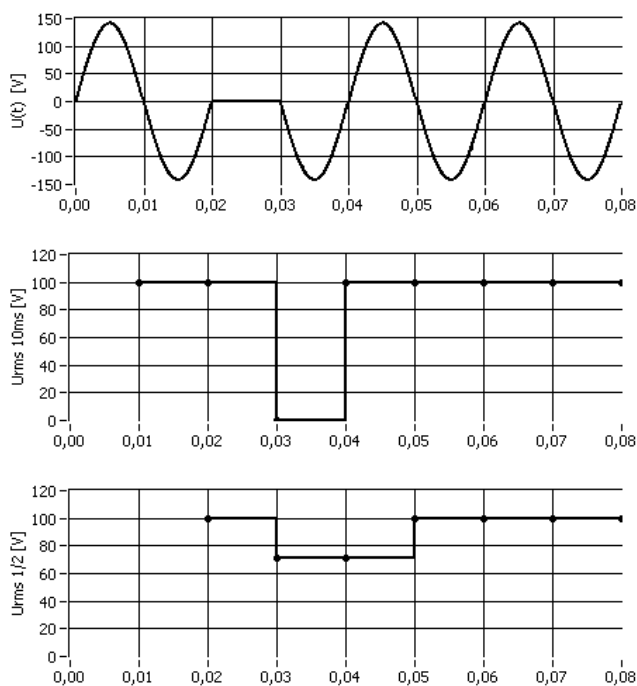
V této kapitole jsou popsána simulovaná i reálná měření, která využívají vytvořený generátor poruchového signálu. Tento generovaný signál je poté poslán na analogový výstup a následně měřen na analyzátoru. Na generovaný výstup je možné zvolit i jeden ze čtyř filtrů, u kterých je možno zvolit jejich řád a frekvenci řezu.

Některá měření jsem nejprve nasimuloval ve vzorových příkladech a pak porovnal s reálnými daty.

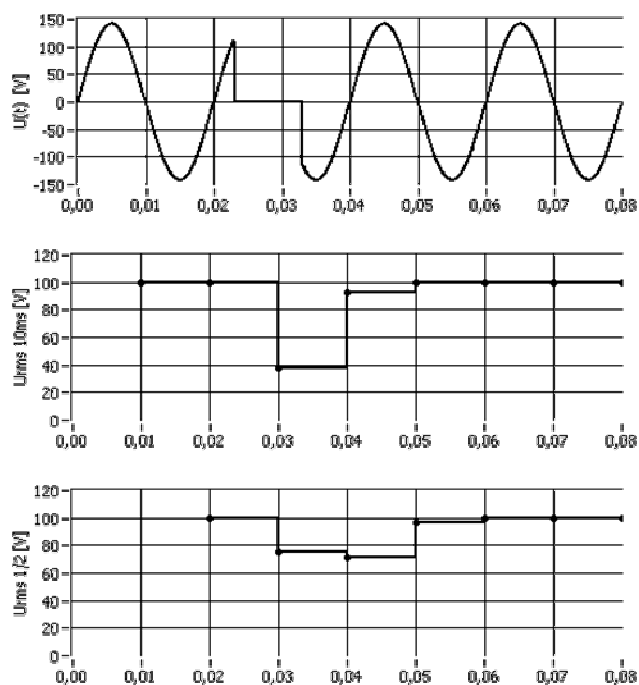
### 9.1. Vyhodnocování délky poklesu napětí

Základním měřením krátkodobého poklesu a zvýšení napětí musí být měření hodnoty  $U_{\text{RMS}1/2}$  v každém měřicím kanálu.  $U_{\text{RMS}1/2}$  je efektivní hodnota napětí měřená po dobu 1 periody začínající v okamžiku průchodu základní složky nulou a obnovena každou půlperiodou.

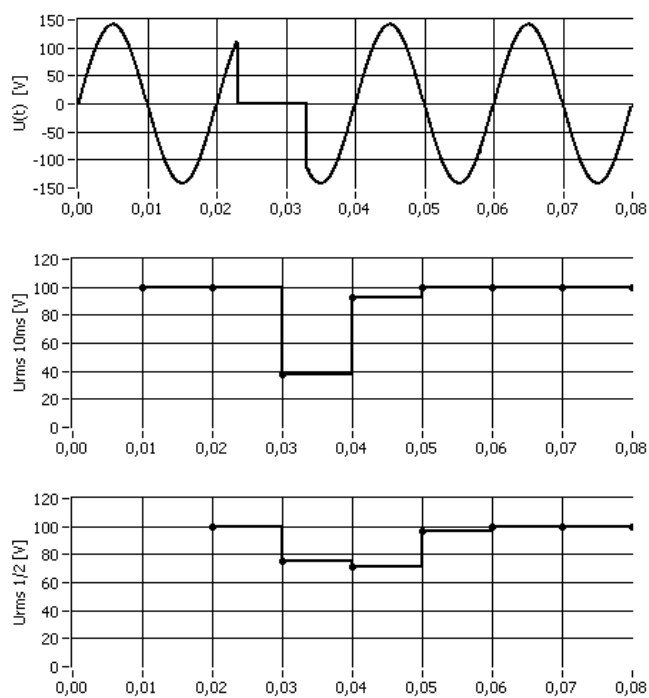
Vliv této definice je vidět na Obr. 54 - Obr. 57. Obrázky zobrazují tři křivky: okamžité hodnoty napětí  $u(t)$ , skutečné půl-periodové napětí  $U_{\text{RMS}}$  10 ms a  $U_{\text{RMS}1/2}$  přesně dle ČSN EN 61000-4-30.



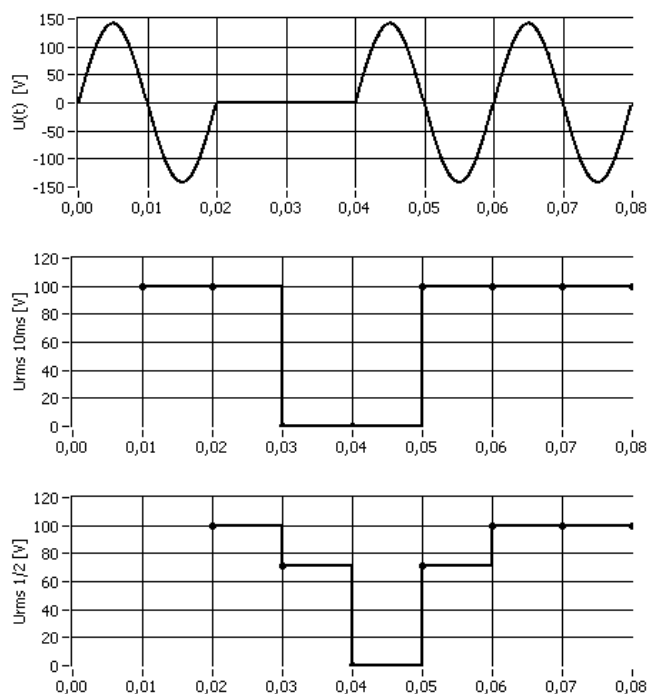
Obr. 54: Pokles na 0V, délka poklesu 10 ms, počátek poklesu v  $0^\circ$  - v čase 20 ms.



Obr. 55: Pokles na 0V, délka poklesu 10 ms, počátek poklesu v  $60^\circ$  - v čase 23 ms.



Obr. 56: Pokles na 0V, délka poklesu 10 ms, počátek poklesu v  $90^\circ$  - v čase 25 ms.



Obr. 57: Pokles na 0V, délka poklesu 20 ms, počátek poklesu v  $0^\circ$  - v čase 20 ms.

Na Obr. 57 je zajímavé sledovat, co způsobí výpočet periodové efektivní hodnoty napětí posouvány po půlperiodě dle ČSN EN 61000-4-30 v porovnání s časem a amplitudou skutečného poklesu napětí. Rozdíly napětí nejlépe vyniknou při velmi krátkých časech. Při delších událostech, řádově stovky ms, pak tyto rozdíly mezi okamžitým napětím a zaznamenanou událostí nevyniknou.

Tuto simulaci poklesu napětí pro počáteční úhly 0, 30, 60, 90, 120 a  $150^\circ$  jsem zapsal do Tab. 1, kde extrém odpovídá minimální hodnotě  $U_{RMS1/2}$  pro příslušné délky výpadku signálu.



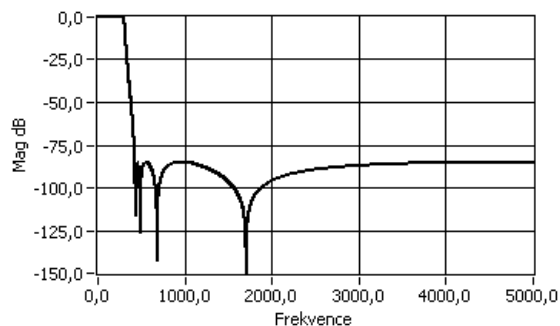
Propad 0 V		Simulace		Měření na PC	
Délka	U <sub>hel</sub>	Změřená délka	Extrém	Změřená délka	Extrém
10 ms	0	20	70,8	20	67,94
10 ms	30	20	70,8	20	68,7
10 ms	60	30	70,8	20	70,37
10 ms	90	30	70,8	30	70,94
10 ms	120	30	70,8	20	70,73
10 ms	150	30	70,8	20	68,74
20 ms	0	30	0	30	0,15
20 ms	30	30	9,8	30	8,76
20 ms	60	30	30,7	30	30,96
20 ms	90	40	49,8	40	50,01
20 ms	120	40	32,3	30	32,19
20 ms	150	30	12,3	30	12,02
30 ms	0	40	0	40	1,33
30 ms	30	40	0	40	1,37
30 ms	60	50	0	40	0,77
30 ms	90	50	0	50	0,35
30 ms	120	50	0	40	2,24
30 ms	150	40	0	40	3,92
40 ms	0	50	0	50	0,15
40 ms	30	50	0	50	0,15
40 ms	60	60	0	50	0,19
40 ms	90	60	0	60	0,16
40 ms	120	60	0	50	0,16
40 ms	150	50	0	50	0,17

Tab. 1: Výsledky simulace  $U_{rms} \frac{1}{2}$  a naměřené hodnoty pro pokles napětí na 0 V.

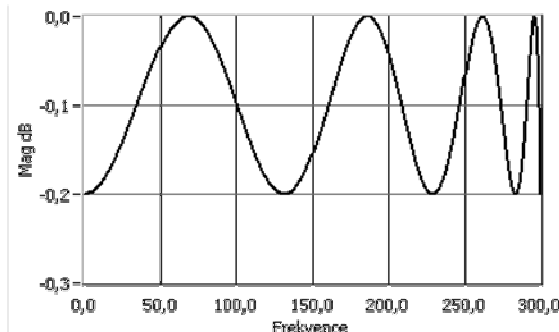
V Tab. 1 jsou uvedeny výsledky simulace a měření na reálném analyzátoru kvality elektrické energie na bázi virtuální instrumentace. Měření probíhalo pro časy od 10 – 40 ms a různé počáteční úhly. Z tabulky je patrné, že simulované a naměřené hodnoty extrémů půlperiodového efektivního napětí se nejvíce liší u délky výpadku 10 ms, kde je rozdíl proti simulovanému signálu od 0,07 V do 2,86 V a délky 30 ms, kde je maximální odchylka 3,92 V. Při delších časech nad 30 ms je již hodnota extrému vždy nulová.

## 9.2. Simulace chování eliptického filtru

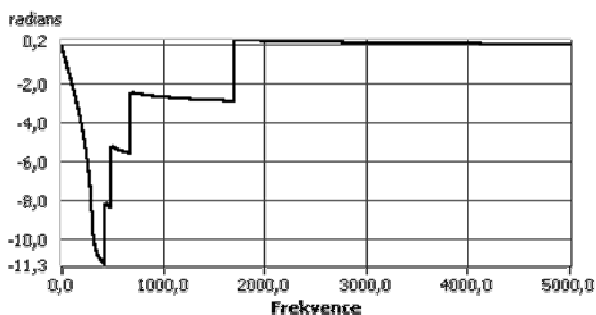
**Eliptický filtr 8.řádu, frekvence řezu 300 Hz, útlum -85 dB**



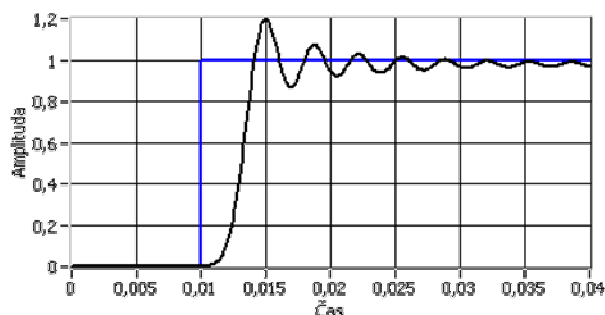
*Obr. 58: Frekvenční charakteristika eliptického filtru 8. řádu s frekvencí řezu 300 Hz*



*Obr. 59: Frekvenční charakteristika propustného pásma eliptického filtru 8. řádu s frekvencí řezu 300 Hz*



*Obr. 60: Fázová charakteristika eliptického filtru 8.řádu s frekvencí řezu 300 Hz.*



*Obr. 61: Přebíhová charakteristika eliptického filtru 8. řádu s frekvencí řezu 300 Hz*

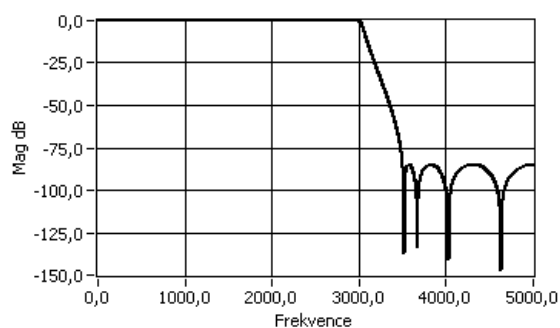
Pro simulaci prvního filtru jsem zvolil následující parametry:

- řád filtru: 8
- frekvence řezu: 300 Hz
- maximální útlum: 85 dB
- maximální zvlnění v propustném pásmu: 0,2 dB

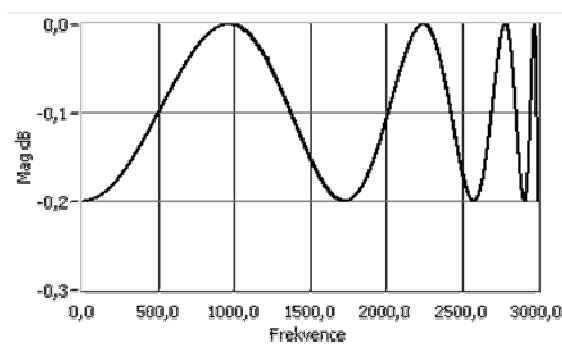
Z obrázků je možno vidět, že filtr má ve své frekvenci zlomu 300 Hz strmý pokles amplitudové frekvenční charakteristiky, čehož se u těchto filtrů využívá. Najdou uplatnění především v televizní a komunikační technice. Obr. 59 zobrazuje propustné pásmo filtru, kde můžeme vidět maximální povolené zvlnění 0,2 dB. Útlum na 85 dB je na frekvenci 425 Hz.

Z přechodové charakteristiky můžeme odečíst délku náběhu 4 ms, překmit 1,2 a dobu ustálení 30 ms.

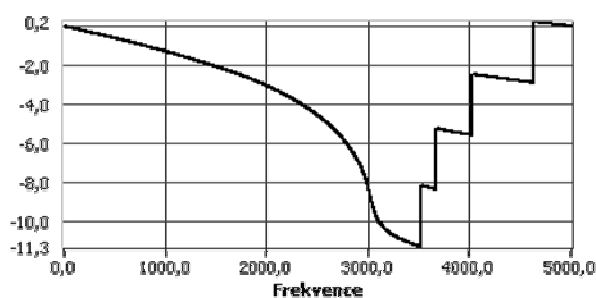
### Eliptický filtr 8.řádu,frekvence řezu 3 kHz, útlum -85 dB



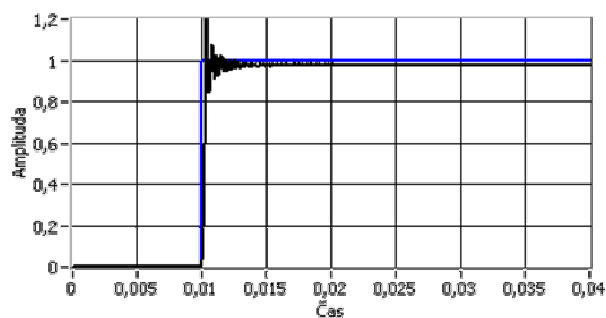
Obr. 62: Frekvenční charakteristika eliptického filtru 8. řádu s frekvencí řezu 3 kHz



Obr. 63: Frekvenční charakteristika propustného pásma eliptického filtru 8. řádu s frekvencí řezu 3 kHz



Obr. 64: Fázová charakteristika eliptického filtru 8.řádu s frekvencí řezu 3 kHz



Obr. 65: Přechodová charakteristika eliptického filtru 8. řádu s frekvencí řezu 3 kHz

Druhý filtr měl nastaveny tyto parametry:

- řád filtru: 8
- frekvence řezu: 3 kHz
- maximální útlum: 85 dB
- maximální zvlnění v propustném pásmu: 0,2 dB

Tento filtr má oproti předchozímu filtru změněnou frekvenci řezu na 3 kHz, což lze vidět na frekvenční charakteristice. Povoleno překmit v přechodové části frekvenční charakteristiky odpovídá hodnotě 0,2 dB. Útlum -85 dB je na frekvenci 3550 Hz. Doba náběhu na jednotkový skok je 0,3 ms při překmitu 1,2 a délce ustálení 4 ms.

### 9.3. Vyhodnocení poklesu napětí s eliptickým filtrem

Při tomto měření byl na výstup generátoru připojen eliptický filtr 8. řádu, u kterého se volilo mezi dvěma frekvencemi řezu (300 Hz, 3 kHz). V Tab. 2 jsou uvedeny výsledky extrému poklesu a naměřené délky při generovaném podpětí na 30 V.

Propad 30 V		s filtrem - Eliptický - 8.řádu			
		frekvence zlomu 300 Hz		frekvence zlomu 3000 Hz	
Délka	U <sub>hel</sub>	Změřená délka	Extrém	Změřená délka	Extrém
10 ms	0	20	65,2	20	63,56
10 ms	30	20	66,64	20	65,05
10 ms	60	20	70,38	20	69,83
10 ms	90	30	72,79	30	72,45
10 ms	120	20	70,08	20	69,9
10 ms	150	20	65,6	20	65,11
20 ms	0	30	30,3	30	29,35
20 ms	30	30	32,24	30	31,37
20 ms	60	30	40,69	30	40,06
20 ms	90	40	51,3	40	50,84
20 ms	120	30	40,28	30	40,2
20 ms	150	30	31,6	30	31,47
30 ms	0	40	29,89	40	29,37
30 ms	30	40	29,95	40	29,37
30 ms	60	40	29,85	40	29,35
30 ms	90	50	30,14	50	29,34
30 ms	120	40	30,22	40	29,35
30 ms	150	40	30,35	40	29,37
40 ms	0	50	29,56	40	29,37
40 ms	30	50	29,77	50	29,39
40 ms	60	50	29,91	50	29,37
40 ms	90	60	29,9	60	29,35
40 ms	120	50	29,95	50	29,34
40 ms	150	50	29,92	50	29,34

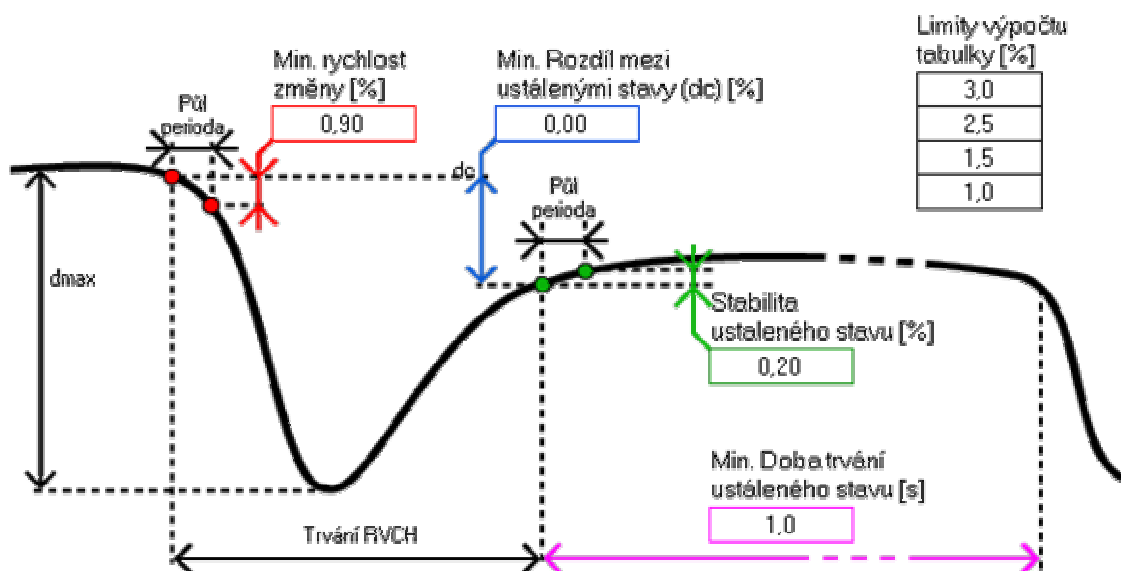
Tab. 2: Naměřené hodnoty pro pokles na 30 V, délka  $U_{rms} \frac{1}{2}$  a extrém

Z výsledků měření lze vyhodnotit, jaký vliv má hodnota frekvence řezu na velikost extrému půlperiodového efektivního napětí  $U_{rms} \frac{1}{2}$  a délku poruchy. Délka poruchy je pro oba filtry totožná, tzn. že frekvence řezu nemá na délku poruchy vliv.

Jinak tomu je u napětí  $U_{rms} \frac{1}{2}$ , kdy filtr s frekvencí řezu 3 kHz má větší tlumení. Je to patrné především u delších poruch, kdy rozdíl oproti filtru s frekvencí řezu 300 Hz je přibližně 0,5 V.

## 9.4. Rychlá napěťová změna napětí

Rychlá napěťová změna je charakteristická tím, že změna napětí musí být v rozmezí  $\pm 10\% U_n$ .



Obr. 66: Nastavení parametrů pro měření rychlých napěťových změn

Na Obr. 66 jsou zobrazeny hodnoty pro detekci rychlé napěťové změny zadané podle normy ČSN EN 61000-4-30. Analyzátor měří napětí každou půl periodu a pokud napětí klesne víc jak o 0,9%, analyzátor to detekuje jako počátek rychlé napěťové změny. Konec této poruchy nastane, pokud se půl-periodové hodnoty od sebe liší o méně jak 0,2%  $U_n$ . Z tohoto rozmezí se určí délka rychlé napěťové změny. Při měření se dále určí i  $d_{max}$ , což je maximální změna napětí udávaná v procentech  $U_n$ . Další měřený parametr  $dc$  určuje změnu na počátku a konci rychlé změny napětí v procentech  $U_n$ .

V následujícím měření byly zadávány strmosti sestupné a nástupné hrany, pokles napětí a velikost napětí po události. Délka poruchy je konstantní 140 ms. Měření bylo provedeno pro tyto 3 případy:

- bez filtru
- s eliptickým filtrem 8.řádu, s frekvencí řezu 300 Hz, povoleným zvlněním v propustném pásmu 0,2
- s eliptickým filtrem 8.řádu, s frekvencí řezu 3 kHz, povoleným zvlněním v propustném pásmu 0,2

Výsledky měření jsou v Tab. 3.

## Podpětí

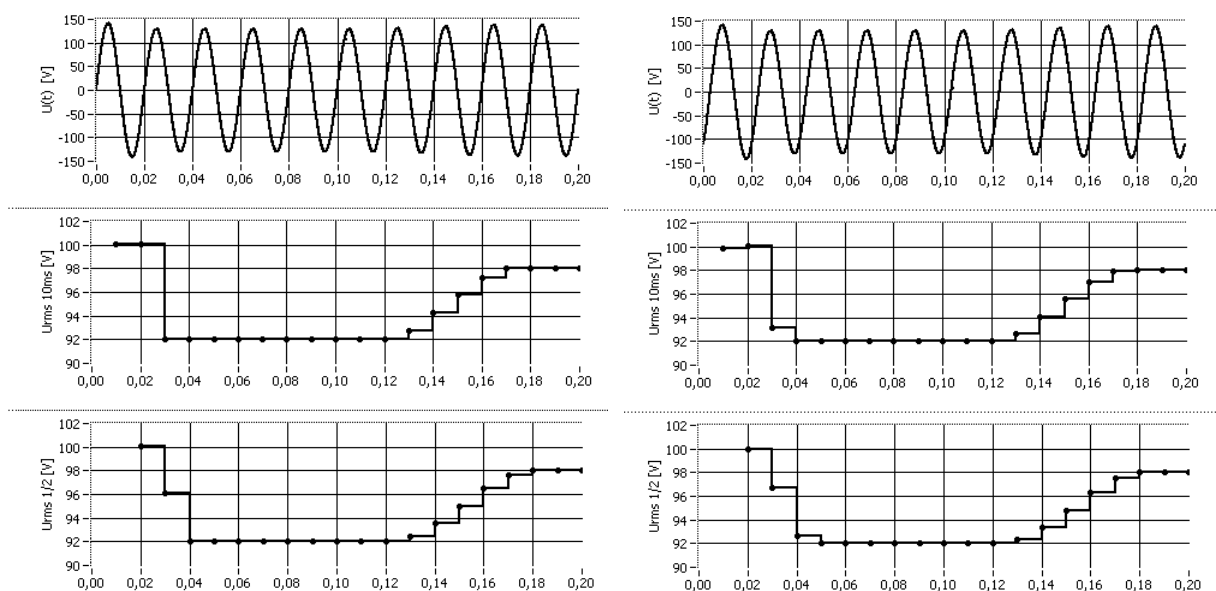
Filtr	Pokles [ms]	Nárůst [ms]	Pokles [%]	Návrat [%]	Délka [ms]	d max [%]	dc [%]	Trvání [s]
1.	40	40	92	98	140	8,03	2,03	0,15
	0	40	92	98	140	7,85	1,86	0,15
2.	40	40	92	98	140	8,02	2,01	0,15
	0	40	92	98	140	7,5	1,84	0,15
3.	40	40	92	98	140	7,88	1,97	0,15
	0	40	92	98	140	7,96	2,08	0,15

## Přepětí

Filtr	Pokles [ms]	Nárůst [ms]	Přepětí [%]	Návrat [%]	Délka [ms]	d max [%]	dc [%]	Trvání [s]
1.	10	40	109	100	140	9,03	0,03	0,15
2.	10	40	109	100	140	8,94	0,02	0,15
3.	10	40	109	100	140	8,8	0,02	0,15

1. Bez filtru
2. S filtrem - Eliptický - 8.řádu - frekvence řezu 300 Hz
3. S filtrem - Eliptický - 8.řádu - frekvence řezu 3 kHz

Tab. 3: Naměřené hodnoty pro rychlé napětíové změny



*Pokles na 92 V, rampa poklesu 0 ms, rampa nárůstu 40 ms – bez filtru*

*Pokles na 92 V, rampa poklesu 0 ms, rampa nárůstu 40 ms – eliptický f. 8.řádu, frekvence řezu 3 kHz.*

Toto měření má ukázat, jaký vliv má rychlá napětíová změna na 92 %  $U_n$  při použití eliptického filtru 8. řádu pro frekvenci řezu 300 Hz a 3 kHz. Z grafů a tabulky lze vidět, že délka poruchy je v obou případech (bez filtru a s filtrem) 150 ms. U filtru s 3 kHz frekvencí řezu lze vidět slabý překmit v čase 0,02 a následný dokmit, který trvá 2 půlperiody signálu. Filtr signál i fázově posune a zeslabí, což je vyřešeno přidáním zesilovacího stupně na výstup z generátoru.

## 9.5. Změna frekvence

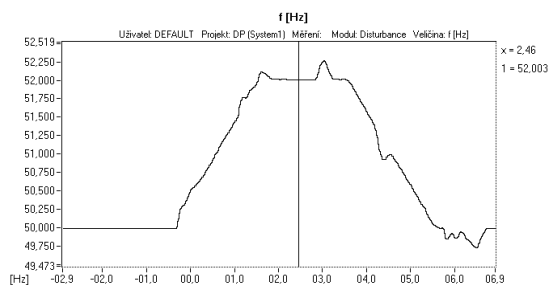
Další měření se zaměřuje na postupnou změnu generované frekvence. Zadána je nástupná a sestupná rampa frekvence a délka poruchy, po kterou se má tato poruchová frekvence generovat. Amplituda u tohoto měření zůstala po celou dobu generování konstantní, a to 100 V.

Generování bylo provedeno pro 48 a 52 Hz a jejich postupný nárůst / pokles. Rampy změn frekvence a délky poruch byly zadávány podle tabulky Tab. 4. Výchozí a koncová frekvence je konstantní a to 50 Hz.

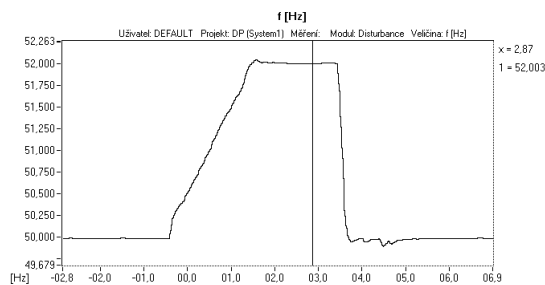
Měření č.	Frekvence			Rampy změny f		Délka poruchy
	Na počátku	V poruše	Na konci	Rampa 1	Rampa 2	
	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[s]	[s]	
1	50	52	50	2	2	2
2	50	52	50	0,1	2	2
3	50	52	50	2	0,1	2
4	50	48	50	2	2	2
5	50	48	50	0,1	2	2
6	50	48	50	2	0,1	2

Tab. 4: Hodnoty pro generování změny frekvence.

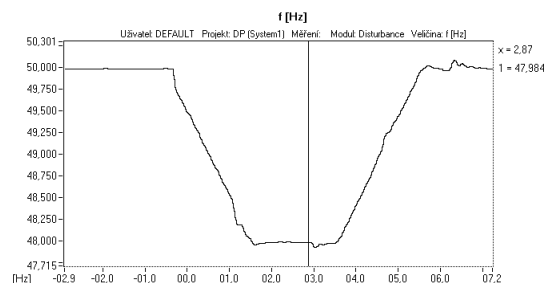
Generovaný signál byl poté měřen na analyzátoru kvality elektřiny, ze kterého jsou i následující naměřené grafy.



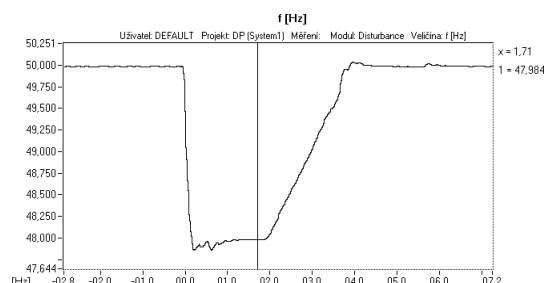
Měření č. 1: změna na 52 Hz, rampy 2 a 2 s



Měření č. 3: změna na 52 Hz, rampy 2 a 0,1 s



Měření č. 4: změna na 48 Hz, rampy 2 a 2 s



Měření č. 5: změna na 48 Hz, rampy 0,1 a 2 s

Obr. 67: Naměřené grafy změn frekvence. Výstup z analyzátoru BK.

Z grafů lze vidět, že generovaná frekvence je poměrně přesná. Změřená frekvence se liší maximálně o 0,25 Hz, což můžeme považovat za výpočetní chybu měřicího programu. Největší kolísání frekvence je u počátku změny frekvence, po nástupu na poruchovou frekvenci a opětovném vrácení na 50 Hz.

V reálu takto rychlé změny nemůžou nastat. Velikost frekvence je dána otáčkami rotačního generátoru a tyto změny jsou v desítkách sekund až minut. Testování bylo jen pro ověření dynamických dějů.



## 10. Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou generování typických poruchových signálů v napájecích sítích na hardwarové platformě Compact DAQ.

Přínosem této práce je vytvořená aplikace generátoru, naprogramovaná v grafickém programovacím prostředí LabVIEW 8.5. Aplikace umožňuje generovat přepětí, podpětí a výpadky signálů s různou rampou amplitudy a zadané frekvence. Použité algoritmy byly ověřeny na simulačních programech, na číslicovém analyzátoru na bázi virtuální instrumentace a aplikace tak splňuje požadované parametry zadávané v GUI programu.

Aplikace umožňuje zadávat poruchové signály na jedné fázi, proto by ji bylo možno doplnit o zadávání událostí na všech třech fázích, nebo doplnit o další poruchové signály jako např. flikry.

Takto vytvořená práce může sloužit pro testování analyzátoru kvality elektrické energie, nebo pro studijní účely dané problematiky. Aplikace může sloužit i jako část složitějšího systému, kdy tento generátor může být doplněn o další funkce, jako např. uložení nastavení zadávaných událostí, spouštění poruch v zadaný čas, cyklické opakování zadaných událostí apod.

## Seznam použité literatury

- [1] Žídek, J.: - *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW* – Výuková skripta – Ostrava, říjen 2002
- [2] *Analogově - digitální převodník* [cit. 10.12.2008].  
Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D\\_převodník](http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_převodník)>
- [3] Heinovský, M.: *Aktivní filtry* [cit. 10.12.2008].  
Dostupný z WWW: <[http://dce.felk.cvut.cz/es2/skripta\\_cviceni/kap3.doc](http://dce.felk.cvut.cz/es2/skripta_cviceni/kap3.doc)>
- [4] Pokorný, M., Nevřiva, P., Švígler J.: *Elektronická měření a přístroje* – Výuková skripta - Ostrava, 2005
- [5] Stránky společnosti National Instruments: WWW: <<http://www.ni.com/>>
- [6] NI 9263 – Products and Services [cit. 12.12.2008].  
Dostupný z WWW: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14170>>
- [7] Šmíd, J.: *Stanovení mezních hodnot rušivých vlivů ve veřejných distribučních sítích v návaznosti na české a mezinárodní normy se zaměřením na poklesy a přerušování napětí* [cit. 13.12.2008].  
Dostupný z WWW:  
<[http://homen.vsb.cz/~san50/Ceska/GACR/Poklesy\\_a\\_preruseni\\_napeti1.doc](http://homen.vsb.cz/~san50/Ceska/GACR/Poklesy_a_preruseni_napeti1.doc)>
- [8] Vysoký, O.: *Elektronické systémy II. – Aktivní filtry*. [cit. 15.12.2008].  
Dostupný z WWW: <<http://dce.felk.cvut.cz/es/skripta/e4.pdf>>
- [9] Bossem-Metrawatt – prezentace [cit. 15.12.2008].  
Dostupný z WWW: <[http://www.gmc.cz/pdf/MAVOLOG\\_slide.pdf](http://www.gmc.cz/pdf/MAVOLOG_slide.pdf)>
- [10] Norma ČSN EN 61000-4-30 *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie*
- [11] Lukeš, P.: *Poklesy napětí v sítích a spolehlivost výpočetní a řídicí techniky* [17.12.2008].  
Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=36539](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36539)>
- [12] NI CompactDAQ: Produkt info [cit. 15.12.2008].  
Dostupný z WWW: <<http://www.ni.com/dataacquisition/compactdaq/>>
- [13] *Kvalita elektřiny v LDS, způsoby jejího zjišťování a hodnocení* [cit. 12.12.2008].  
Dostupný z WWW: <[http://www.elpro-delicia.cz/de\\_pr3\\_obsah.htm](http://www.elpro-delicia.cz/de_pr3_obsah.htm)>
- [14] Norma ČSN EN 50 160 - *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*
- [15] NI USB-9263 User Guide and Specifications
- [16] Bilík, P., Žídek, J.: *Obecné aspekty měření kolísání napětí a flikru* – prezentace
- [17] WWW: <<http://www.zone.ni.com>>